



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
**C A M P U S P U E B L A**

Postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional

## **PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE BIOMASA DE MAÍCES PARA DOBLE PROPÓSITO (GRANO Y RASTROJO) EN EL ALTIPLANO DE PUEBLA**

**JOSE ROBERTO HURTADO ANCHONDO**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA.

2019



## COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

SUBDIRECCIÓN DE EDUCACIÓN  
CAMPUS PUEBLA

CAMPUE- 43-2-03

### CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Jose Roberto Hurtado Anchondo**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Producción y calidad de biomasa de maíces para doble propósito (grano y rastrojo) en el Altiplano de Puebla**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 18 de Febrero de 2019.

\_\_\_\_\_  
José Roberto Hurtado Anchondo

\_\_\_\_\_  
Vo. Bo. Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez  
Profesor Consejero

La presente tesis titulada **“Producción y calidad de biomasa de maíces para doble propósito (grano y rastrojo) en el Altiplano de Puebla”**, realizada por el alumno **José Roberto Hurtado Anchondo**; bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO: \_\_\_\_\_



**DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRÍGUEZ**

ASESOR: \_\_\_\_\_



**DR. J. ARAHÓN HERNÁNDEZ GUZMÁN**

ASESOR: \_\_\_\_\_



**DR. EFRAÍN PEREZ RAMÍREZ**

ASESOR: \_\_\_\_\_



**DR. JOSÉ ISABEL OLVERA HERNÁNDEZ**

ASESORA: \_\_\_\_\_



**DRA. LUZ DEL CARMEN LAGUNES ESPINOZA**

Puebla, Puebla, México. 15 de Febrero de 2019.

# PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE BIOMASA DE MAÍCES PARA DOBLE PROPÓSITO (GRANO Y RASTROJO) EN EL ALTIPLANO DE PUEBLA

José Roberto Hurtado Anchondo, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019.

La mayoría de las unidades de producción de rumiantes en los valles altos en diversas regiones de México integran al rastrojo de maíz como fuente de forraje. Este cultivo debe ser, por tanto, alto productor de grano y que rinda altas cantidades de rastrojo de calidad. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento productivo y calidad nutritiva de 36 genotipos de maíz en el altiplano de Puebla. Estos genotipos fueron siete híbridos comerciales, una variedad sintética, nueve poblaciones de polinización libre y diecinueve híbridos experimentales de cruce simple derivados de genotipos locales. Se establecieron tres experimentos con diseño látice 6x6 en unidades experimentales de dos surcos de 0.8 de ancho por 5 metros de largo. Se evaluaron variables relacionadas con características físicas propias de las plantas y químicas del rastrojo producido. Con los datos obtenidos se evaluó el rendimiento útil (RUT) que incluyó el rendimiento de grano (RGR), la producción y digestibilidad del rastrojo. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) entre genotipos en floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura a la mazorca, rendimiento de grano, rendimiento de materia seca de rastrojo y sus componentes. Asimismo, se encontraron diferencias entre cultivares en concentración de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina en detergente ácido, digestibilidad *in vitro*, proteína cruda y rendimiento útil (RUT). En esta última variable, el grupo de genotipos sobresalientes fueron: HS-2<sup>®</sup>, Águila 215W<sup>®</sup>, SM-16 60x66, SM-16 5x64, SM-16 64x66, SM-16 53x64, SM-16 13x44, SM-16 23x60, SM-16 58x21, SM-16 44x64, SM-16 136x142, Niebla<sup>®</sup> y SM-16 21x64. Esta variable logra enmascarar a los genotipos que tienen producciones altas de grano y rastrojo pero que tienen baja digestibilidad. De los trece genotipos sobresalientes, sólo el SM-16 5x64 tuvo superioridad en digestibilidad, pero rendimiento medio de materia seca de rastrojo, lo cual le da mayor potencial para ser un genotipo de doble propósito.

**Palabras clave:** calidad de rastrojo, digestibilidad, integración cultivos-ganadería, maíz, valles altos.

## PRODUCTION AND QUALITY OF BIOMASS OF DUAL PURPOSE (GRAIN AND STOVER) MAIZE IN THE HIGHLANDS OF PUEBLA

José Roberto Hurtado Anchondo, MSc.

Colegio de Postgraduados, 2019.

The majority of ruminant production units in the high valleys in several regions of Mexico integrate maize stubble as a source of forage. This crop must be, therefore, a high yielding of grain and stubble of quality. The objective of the present research was to evaluate the productive performance and nutritive quality of 36 maize genotypes in the Puebla highlands. These genotypes were seven commercial hybrids, one synthetic variety, nine free-pollinated populations and nineteen experimental hybrids derived from crosses of local genotypes. The sowing was carried out in three experiments with lattice design 6x6 in experimental units of two rows of 0.8 of width by 5 meters of length. Variables related to the characteristics of the plants and chemical characteristics of the stubble produced were evaluated. With the obtained data, the useful yield (RUT) that included the grain yield (RGR), the production and stubble digestibility was evaluated. Differences ( $P < 0.001$ ) were found among genotypes in male flowering, female flowering, plant height, height at the ear, grain yield, dry matter yield of stubble and its components. Likewise, differences were found in neutral detergent fiber, acid detergent fiber, lignin in acid detergent, *in vitro* digestibility, crude protein and useful yield (RUT). In this last variable, the group of outstanding genotypes were: HS-2<sup>®</sup>, Águila 215W<sup>®</sup>, SM-16 60x66, SM-16 5x64, SM-16 64x66, SM-16 53x64, SM-16 13x44, SM-16 23x60, SM-16 58x21, SM-16 44x64, SM-16 136x142, Niebla<sup>®</sup> y SM-16 21x64. This variable manages to disguise the genotypes that have high production of grain and stubble but have low digestibility; in this way, only the genotype SM-16 5x64 had superiority in digestibility, but had middle yield of stover dry matter, nonetheless it has greater potential to be a dual-purpose genotype.

**Key words:** stubble quality, digestibility, crop-livestock integration, corn, high valleys.

## **DEDICATORIA**

A mí pareja mi incondicional, consorte de trabajo y de desvelos en el postgrado, quien a pesar del horario y la distancia estuvo siempre apoyándome.

A mi madre quien ha estado siempre para guiarme con su ejemplo y su amor, aun y con los años que tenga seguirá dejándome siempre atónito con su sabiduría.

A mi padre mi ejemplo de esfuerzo, disciplina y profesionalismo, siempre me seguirá dando su experiencia de vida, que vale más que muchos títulos.

A mi hermana siempre mi más real ejemplo de compañerismo, amistad y amor.

A mis sobrinos y mi cuñado por ser un apoyo para mi familia en estos momentos en que estoy lejos de mi tierra y de mis amigos y compañeros de siempre, aunque no les demuestre mi amor, siempre están en mi mente.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico para realización de mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de formarme profesional, laboral y moralmente.

Al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez por aceptar ser mi consejero y director de tesis, por su apoyo en la práctica y escritura de la investigación. Es un gran ejemplo para seguir académica y profesionalmente.

A los doctores que aceptaron formar parte del H. Consejo Particular: Dr. J. Arahón Hernández Guzmán, Dr. José Isabel Olvera Hernández, Dra. Luz del Carmen Lagunes Espinoza y Dr. Efraín Pérez Ramírez. Gracias por su apoyo, consejos y sugerencias en el trabajo de investigación.

Al Dr. Pedro Antonio López por haber ido más allá del deber de catedrático y brindarme su apoyo siempre que lo requerí. Fue un gran honor ser su alumno.

Al Lic. Levis Manuel Cortes Rosales y a los demás productores dueños de las unidades de producción donde se establecieron los experimentos, muchas gracias por su tiempo y disposición en el cuidado del experimento.

Al M.C. Ernesto Hernández Romero por su apoyo en el procesamiento de las muestras en la MAP Huejotzingo.

A mis compañeros y amigos del Postgrado por siempre contar con su apoyo en las cátedras que coincidimos y que me pudieron ayudar, y fuera del Campus a quienes han sido un apoyo e impulso importante, muchas gracias.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
3. HIPÓTESIS GENERAL.....	3
3.1 Hipótesis específicas.....	3
4. OBJETIVO GENERAL.....	4
4.1 Objetivos específicos.....	4
5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
5.1 Problemática en la producción de grano de maíz.....	5
5.2 Conversión de tierras agrícolas a otros usos de suelo.....	6
5.3 Producción de maíz para consumo humano y consumo animal.....	7
5.4 Maíz de doble propósito.....	9
5.5 Demanda de maíz de doble propósito.....	9
5.6 Sistemas de producción de maíz en el altiplano de Puebla.....	9
5.7 Situación del maíz de doble propósito.....	12
5.8 Calidad del rastrojo y su mejoramiento genético.....	12
5.9 Diversidad genética de maíz de doble propósito.....	15
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
6.1 Área de estudio.....	18
6.2 Localización de experimentos.....	18
6.3 Material genético.....	19



6.4	Diseño experimental y análisis estadístico.....	20
6.5	Manejo y conducción experimental.....	21
6.5.1	Preparación del terreno.....	21
6.5.2	Densidad de siembra y de población.....	21
6.5.3	Fertilización.....	22
6.5.4	Condiciones ambientales durante el desarrollo del experimento.	22
6.5.5	Muestreo de plantas y preparación para el análisis de laboratorio.....	22
6.6	Variables de estudio.....	25
6.6.1	Variables de campo.....	25
6.6.2	Variables de calidad del rastrojo.....	26
6.6.3	Rendimiento útil (RUT).....	28
6.7	Correlación entre variables.....	28
7.	RESULTADOS.....	29
7.1	Condiciones ambientales durante el desarrollo del experimento.....	29
7.2	Variables de campo.....	30
7.2.1	Días a floración masculina (DFM).....	30
7.2.2	Días a floración femenina (DFF).....	31
7.2.3	Altura de la planta (ALP).....	32
7.2.4	Altura a la mazorca (ALM).....	33
7.2.5	Rendimiento del grano (RGR).....	34
7.2.6	Rendimiento de materia seca (RMS) de rastrojo.....	35

7.2.6.1 Rendimiento de materia seca de hoja (RHS) en rastrojo...	37
7.2.6.2 Rendimiento materia seca de tallo (RTS) en rastrojo.....	38
7.2.7 Relación hoja-tallo (RHT).....	39
7.3 Variables de calidad del rastrojo.....	40
7.3.1 Fibra detergente neutro (FDN).....	40
7.3.2 Fibra detergente ácido (FDA).....	41
7.3.3 Lignina en detergente ácido (LDA).....	42
7.3.4 Digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS).....	43
7.3.5 Proteína cruda (PC).....	44
7.4 Rendimiento útil (RUT).....	45
7.5 Correlación entre variables.....	46
7.5.1 Correlación entre variables de campo.....	46
7.5.3 Correlaciones combinadas.....	46
8. DISCUSIÓN.....	47
8.1 Comportamiento productivo de los materiales de maíz.....	47
8.1.1 Rendimiento de grano.....	47
8.1.2 Rendimiento de materia seca.....	48
8.1.3 Precocidad.....	48
8.1.4 Altura.....	48
8.1.5 Relación hoja-tallo.....	49
8.2 Calidad nutritiva del rastrojo.....	49
8.2.1 Proteína Cruda.....	49

8.2.2 Contenido de fibras.....	49
8.2.3 Digestibilidad in vitro de la materia seca.....	50
8.3 Aptitud para doble propósito.....	50
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
9.1 Conclusiones.....	51
9.2 Recomendaciones.....	52
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Localización de los experimentos por municipio en la Región Altiplano de Puebla.....	18
<b>Figura 2.</b> Imagen representativa de selección de planta para cosecha, San Nicolás Zecalacoayan, 2017.....	24
<b>Figura 3.</b> Temperatura promedio (°C) registrada en San Mateo Capultitlán, Municipio de Huejotzingo, Puebla y las precipitaciones promedio mensuales (SMN-CNA, 2018; INIFAP, 2018) de las tres localidades.....	29
<b>Figura 4.</b> Distribución del déficit de presión de vapor (DPV) en el periodo del 11 de mayo al 25 de noviembre de 2017, en San Mateo Capultitlán, Huejotzingo, Puebla.....	30
<b>Figura 5.</b> Distribución del periodo de Días de Floración Masculina (DFM) de cada uno de los materiales establecidos.....	31
<b>Figura 6.</b> Distribución del periodo de Días de Floración Femenina (DFF) de cada uno de los materiales establecidos.....	32
<b>Figura 7.</b> Distribución de altura de plantas (ALP) en cada uno de los materiales establecidos.....	33
<b>Figura 8.</b> Distribución de altura a la mazorca (ALM) en cada uno de los materiales establecidos.....	34
<b>Figura 9.</b> Distribución del rendimiento de grano (RGR) en cada uno de los materiales establecidos.....	35

<b>Figura 10.</b>	Distribución de rendimiento de materia seca de rastrojo (RMS) en cada uno de los materiales establecidos.....	36
<b>Figura 11.</b>	Distribución de rendimiento de hoja seca de rastrojo (RHS) en cada uno de los materiales establecidos.....	37
<b>Figura 12.</b>	Distribución de rendimiento de tallo seco de rastrojo (RTS) en cada uno de los materiales establecidos.....	38
<b>Figura 13.</b>	Distribución de relación hoja-tallo (RHT) en cada uno de los materiales establecidos.....	39
<b>Figura 14.</b>	Concentración de Fibra Detergente Neutro (FDN) en el rastrojo de cada uno de los materiales establecidos.....	40
<b>Figura 15.</b>	Concentración de Fibra Detergente Ácido (FDA) en el rastrojo de los 36 materiales establecidos.....	41
<b>Figura 16.</b>	Concentración de Lignina en detergente ácido (LDA) en el rastrojo de cada uno de los materiales establecidos.....	42
<b>Figura 17.</b>	Porcentaje de Digestibilidad in vitro (DIVMS) del rastrojo de cada uno de los materiales establecidos.....	43
<b>Figura 18.</b>	Concentración de Proteína cruda (PC) en el rastrojo de cada uno de los materiales establecidos.....	44
<b>Figura 19.</b>	Concentración de rendimiento útil (RUT) de cada uno de los materiales establecidos.....	45

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Composición nutricional del rastrojo.....	14
<b>Cuadro 2.</b> Comportamiento productivo de maíz de doble propósito.....	16
<b>Cuadro 3.</b> Identificación de materiales de maíz utilizadas en este estudio.....	19

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1.</b> Resumen de los resultados obtenidos mediante el modelo estadístico empleado para el análisis de los materiales de maíz para las variables de campo.....	61
<b>Anexo 2.</b> Resumen de los resultados obtenidos mediante el modelo estadístico empleado para el análisis de los materiales de maíz para las variables a nivel laboratorio de calidad de rastrojo.....	63
<b>Anexo 3.</b> Resultados finales de variables de calidad de rastrojo, ordenados descendientemente como materiales de maíz de doble propósito con rendimiento útil.....	65
<b>Anexo 4.</b> Resultados finales de variables de calidad de rastrojo, ordenados descendientemente como materiales de maíz de doble propósito con DIVMS.....	67
<b>Anexo 5.</b> Estadísticos simples.....	68

## 1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo que se aprovecha como alimento para el ser humano y los animales. Para el caso de los rumiantes, puede suministrarse en grano, en forraje verde, en ensilado o en rastrojo. La utilización del rastrojo, el cual se define como los sobrantes de la planta una vez que se colecta el grano (Muro *et al.*, 2013), es de amplio uso en la región del altiplano de Puebla. Esto se debe a que en el contexto que prevalece en los sistemas de producción agropecuarios, los productores tienen que hacer un uso eficiente de los recursos naturales, mejorar la seguridad alimentaria y evitar la competencia entre la producción de alimentos para animales y consumo humano. Por tanto, los cultivos en los sistemas de producción donde se integra la parte agrícola con la ganadera deben cumplir la función de producir grano y rastrojo a la vez. De ello se deriva que la función de doble propósito es definida como la capacidad que tienen los cultivos para producir a la vez grano y rastrojo en cantidad y calidad suficientes, para la alimentación humana y animal (Peña *et al.*, 2008; Tadeo *et al.*, 2012; Blümmel *et al.*, 2013; Barroel *et al.*, 2014).

En el altiplano de Puebla varios problemas inciden negativamente en la producción de maíz; entre ellos está la poca disponibilidad de tierras, la importación de este grano, el poco apoyo al campo y efectos atribuidos al cambio climático. Por ello, se debe recurrir a la búsqueda de nuevos genotipos de maíz, más resistentes (que tengan mayor tolerancia al cambio climático), y que cumplan con una doble funcionalidad de alimento para consumo humano (grano) y animal (grano y forraje).

Se han realizado investigaciones en otros continentes y en condiciones climáticas principalmente de trópico (Anandan *et al.*, 2013; Ravi *et al.*, 2013; Zaidi *et al.*, 2013) en donde se encontró que existe variación en producción de grano, rastrojo y calidad. En México, Aceves (1998), Aceves *et al.* (2002) y Muñoz *et al.* (2013) realizaron investigaciones comparando poblaciones locales (también llamadas nativas) de maíz con variedades híbridas, evaluando tanto el rendimiento de grano y forraje como la calidad de rastrojo. Encontraron que las poblaciones locales son menos fibrosas y más digestibles que las híbridas, aunado a que las primeras tuvieron mayor rendimiento de grano y de materia seca que las variedades híbridas. Sin embargo, no se han identificado

variedades con potencial de doble propósito, sólo se han descrito las posibles variedades con mayores rendimientos y mayor calidad de rastrojo, pero no bajo el criterio de doble propósito.

Con base en lo anterior, se propuso la presente investigación, con el fin de detectar genotipos de maíz de doble propósito, que tengan mayor funcionalidad para los sistemas de producción mixtos en donde la producción de cultivos está integrada con la ganadería y que puedan servir como material genético base para futuros programas de mejoramiento con este enfoque.

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El estado de Puebla produce 989,323 t de rastrojo de maíz (3.9% de la producción nacional), 1'429,233 t de residuos de cultivos de sorgo, trigo y cebada, 35,026 t de pastos y 419,702 t de cultivos forrajeros (principalmente de maíz, avena y cebada) (Vélez *et al.*, 2013). Se requieren de aproximadamente 4'520,870 t de materia seca para cubrir la demanda en la alimentación de bovinos, caprinos y ovinos, por lo que existe un déficit en la producción de materia seca de 2'636,909 t (Gasque, 2008; Galaviz *et al.*, 2011; SIAP, 2017). Ante esta situación, una mayor producción de rastrojo de maíz puede ayudar a disminuir dicho déficit.

Por otra parte, Donnet *et al.* (2012) mencionan que actualmente en México se deben reducir las importaciones de grano de maíz y abastecer la demanda de este. Para ello, sugieren que se haga uso de tecnologías, principalmente de organismos públicos y empresas privadas, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, agroecológicas y socioeconómicas en las que se produce maíz; y desarrollar variedades mejoradas a partir de poblaciones nativas. De acuerdo con SIAP (2017), la región con mayor potencial para producir maíz de doble propósito es el Trópico Bajo del Pacífico y los Valles Altos.

Asimismo, la situación de los sistemas agropecuarios mixtos es que el 85% presentan condiciones ambientales de estacionalidad de las lluvias, se realizan mínimas prácticas para retención de agua, se está degradando el suelo y otros recursos naturales, existe descapitalización y grandes vacíos en el financiamiento (Jiménez, 2005), como es el caso del estado de Puebla.



Varias iniciativas se han implementado, como lo mencionan Damián *et al.* (2011a), donde las aportaciones de la Revolución Verde (periodo de alto desarrollo tecnológico, iniciado en Sonora, México, hacia 1940) fueron la introducción de variedades mejoradas con las características productivas deseables por los productores. Sin embargo, estas mejoras no lograron cambiar los usos y costumbres de los productores de subsistencia (agricultores que producen para cubrir sus necesidades alimentarias básicas), pues estos optaron seguir utilizando semilla de poblaciones locales, que son parte de su herencia cultural. El uso de semilla de materiales mejorados, de acuerdo con los autores mencionados, ha traído el deterioro del agroecosistema, siendo ésta una de las causas por la que los productores de subsistencia no elijen las semillas de materiales mejoradas para establecer sus cultivos.

Ante esto, surge la necesidad de idear producciones que imiten al ecosistema como son los sistemas de policultivos, diversificados, la sustitución de insumos químicos, el ahorro de recursos para la producción de maíz, y el uso eficiente de recursos. Por tanto, la identificación de genotipos de maíz de doble propósito que tengan o compartan características de las variedades locales, puede contribuir con altos rendimientos de grano y rastrojo de alta calidad, mejorando la eficiencia productiva de maíz en las áreas agrícola y pecuaria.

Con base en lo anterior, se establecen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es el comportamiento productivo de grano y de rastrojo entre poblaciones locales de maíz, híbridos de cruce simple derivados de poblaciones locales, e híbridos comerciales?
- ¿Cuál es el comportamiento nutricional del rastrojo de poblaciones locales de maíz, de híbridos de cruce simple derivados de poblaciones locales, e híbridos comerciales?

### **3. HIPÓTESIS GENERAL**

Existe un comportamiento diferencial cuando se comparan híbridos de cruza simple, poblaciones de polinización libre e híbridos comerciales de maíz, con base en la producción de grano, el rendimiento de rastrojo y su calidad nutricional.

#### **3.1 Hipótesis específicas**

- El potencial productivo de grano y rastrojo de híbridos comerciales y variedades sintéticas de maíz son superiores al que poseen los híbridos de cruza simple y los de poblaciones de polinización libre.
- La calidad nutricional del rastrojo de los híbridos de cruza simple y los de poblaciones de polinización libre es superior que la de los híbridos comerciales y variedades sintéticas de maíz.

### **4. OBJETIVO GENERAL**

Comparar el potencial productivo de distintos genotipos de maíz e identificar aquellos que combinen alto potencial para producir grano y rastrojo de alta calidad.

#### **4.1 Objetivos específicos**

- Evaluar el comportamiento productivo del grano y rastrojo de 36 genotipos de maíz.
- Evaluar la calidad nutricional del rastrojo de 36 genotipos de maíz.

## **5. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **5.1 Problemática en la producción de grano de maíz**

En México la cultura Olmeca fue la primera en genotipo maíz hacia los años 1500 a 3000 a.C. (Florescano, 2003); desde entonces ha sido cultivado hasta la actualidad, no sin enfrentar una problemática, que en algunos casos se agudiza. Entre los principales problemas para producir maíz están: el acceso a capacitación técnica y tecnológica, cambio climático, disponibilidad de agua e insumos agrícolas; además, la baja producción de maíz en México está asociada a la importación de este.

De acuerdo con Moreno (2014), se está produciendo un fenómeno de aumento en la importación de maíz y una consecuente baja en su precio de venta, debido a políticas gubernamentales, variaciones del precio internacional y a los tratados comerciales con otros países. Las importaciones de grano de maíz en México para 2016 fueron de 13.95 millones de t, y de 63,426 t de maíz forrajero; de ellas, Estados Unidos aportó 98.5% del grano de maíz y 90% del maíz forrajero. Tales importaciones de grano de maíz aumentaron 16.5% y las de maíz forrajero disminuyeron 19.5% respecto a 2015 (SIAP, 2017).

De acuerdo con lo anterior, las tendencias y usos del maíz han cambiado, mostrando que la cantidad de grano que se demanda en la producción pecuaria es sólo 5% inferior a aquella requerida para el consumo humano. Asimismo, las importaciones de grano de maíz han aumentado en los últimos años para el sector pecuario, generando más dependencia del extranjero. Por ello se requieren medidas para lograr la seguridad alimentaria de maíz a través del impulso en la producción de este cultivo, incluso con miras a la mayor producción de maíces nativos (SIAP, 2017).

La dependencia de las importaciones de maíz, están determinadas por el mercado nacional de maíz y el precio internacional, resultando en una tendencia de aumentar en los últimos años (Moreno, 2014). Ante este escenario, se requiere de acciones para mejorar la productividad de este cultivo, para lo cual se menciona como vía principal el mejoramiento genético, sin dejar de considerar otros factores, como son los económicos y sociales, para que el país produzca la cantidad de maíz que se demanda.

## **5.2 Conversión de tierras agrícolas a otros usos de suelo**

En México se inició con la transformación de uso de suelo agrícola a urbano desde 1950 y cada vez es más frecuente. Esos suelos originalmente de uso agrícola, ejidales y privados, pasaron a ser suelos de uso urbano, incluso por expropiación. Esto derivó en que el fenómeno de cambio en el uso del suelo sea el factor dominante en la afectación de los procesos naturales y sus ciclos de resiliencia (Lombin *et al.*, 1999; Ávila, 2001). La productividad de la agricultura mexicana comenzó a declinar a partir de 1980, resultado de las políticas neoliberales del gobierno federal que modificaron el sistema de tenencia de tierras agrícolas, donde podían ser vendidas, emanado de la reforma del Artículo 27 constitucional y aunado a la liberación del sector agrícola en 1983 (Palacio, 2002).

Dado que las zonas agrícolas cercanas a los asentamientos urbanos además de tener buena ubicación poseen una productividad agrícola importante, esto conllevó a la competencia entre el uso agrícola y el urbano, donde el mercado urbano tiene mayores beneficios. Debido a ello, los productores agrícolas deciden vender o rentar sus tierras, resultando en una disminución de tierras agrícolas y un aumento de tierras urbanas (Palacio *et al.*, s/f).

También ha ocurrido invasión de reservas territoriales, fenómeno presente en el país que ha afectado en la disminución de la biodiversidad de los ecosistemas. Ello ha conducido a que se genere una falta de valorización de las tierras agrícolas y de otras tierras con cobertura vegetal. Así, el avance de las ciudades sobre las tierras agrícolas conduce a la pérdida de calidad de suelo, degradación y desertificación. Por ello, la falta de regulación de avance de tierras, de desarrollo rural y regional ha hecho que este fenómeno sea cada vez más constante (García, 2008).

Cabrales (2007) menciona que, debido al cambio de uso del suelo, de agrícola a urbano, en la región del Altiplano de Puebla en el periodo de 1976 a 2005 se transformaron en zona urbana 7 mil 78 ha de agricultura de temporal y 635 ha de agricultura de riego y bosques cultivados. Este avance de las zonas urbanas sobre las mejores tierras de cultivo, que se encuentran en las áreas bajas y planas, ha desplazado a la agricultura a terrenos menos productivos, poco profundos y en regiones con climas desfavorables por

ser más secos o fríos. Este fenómeno tiene repercusión severa en las condiciones ambientales como son aumento en la erosión del suelo y la disminución de la recarga de mantos acuíferos, necesarios tanto para la producción agrícola como para satisfacer las necesidades domésticas e industriales urbanas. Por tanto, la urbanización afectó a la agricultura al disminuir con ella la superficie agrícola, utilizar para construcción suelos de buen potencial productivo y disminuir los recursos naturales que en otros tiempos estaban disponibles para genotipo maíz y otras especies.

El municipio de Cuautlancingo, Puebla, por citar un ejemplo, sufrió la transformación territorial de agrícola ejidal y privada a urbana e industrial. Este municipio en 1958 poseía una superficie agrícola de 33.74 km<sup>2</sup>, pasando a 17.71 km<sup>2</sup> en 2015. En este periodo la superficie agrícola disminuyó 47.5%, destinándose principalmente a uso urbano habitacional e industrial. Pero es el suelo industrial el que más ha tenido impacto en el cambio de suelo, ya que es motivo de que la superficie aledaña sea cambiada a uso urbano habitacional por la cercanía a los sitios de trabajo (Tochihuitl *et al.*, 2016).

Entonces, la superficie para cultivo de maíz ha disminuido tal como se muestra en el caso del municipio de Cuautlancingo, Puebla; por lo cual, ahora las fuentes de producción de materia seca para los rumiantes también han disminuido. Este fenómeno a nivel local ha sido paralelo a nivel mundial, donde de acuerdo con Villegas *et al.* (2001) y la FAO (2003), la superficie para obtener materia seca (dividida en 41.9% de praderas, 28.9 de agostaderos, 24% donde se obtienen residuos de cultivos y el 4.3% de cultivos forrajeros) también se ha disminuido en el rubro de praderas y agostaderos, dando como resultado una menor producción de materia seca.

De acuerdo con lo anterior, es necesario hacer más eficiente el suelo que aún es agrícola mediante especies vegetales que produzcan más y, de ser posible, que su producción satisfaga las necesidades de consumo humano y animal a la vez, debido a la reducción de la superficie de suelos agrícolas.

### **5.3 Producción de maíz para consumo humano y consumo animal**

Los usos del grano de maíz son principalmente diferenciados por el tipo de consumidor que, en este caso, son los humanos y los animales. El maíz blanco se destina

principalmente para el consumo humano por su alto contenido de fructosa, y el maíz amarillo es el que se destina principalmente para la alimentación animal porque confiere color a productos como la carne de las aves, grasa animal y la yema de huevo (FAO-CIMMYT, 1997).

La producción de maíz para grano en 2016 fue de 28.25 millones de t, lo que representó 14.4% de aumento en comparación a 2015 (SIAP, 2017). El consumo nacional de maíz para grano en México para 2016 fue de 38.481 millones de t, correspondiendo 17.337 millones de t (45.05%) al consumo humano y 15.646 millones de t (40.65%) al consumo animal (SIAP, 2017). Además del maíz para grano, el maíz forrajero representa también un tipo de maíz que se produce en México, pero se destina en su totalidad al consumo animal. En 2016 se produjeron 16.16 millones de t, aumentando 18.3% en comparación con 2015 y representando 13.2% de la producción nacional de forrajes (SIAP 2017).

Del cultivo de maíz, los sobrantes de la producción de grano son la planta completa y el olote, comúnmente conocidos como rastrojo, tienen una disponibilidad anual de 25.5 millones de t (González, 2001). De acuerdo con Vélez *et al.* (2013), la producción de rastrojo de maíz se estima mediante la producción nacional de grano que representa 47%; en consecuencia, la producción de rastrojo equivale a 53%. El SIAP (2017) menciona que en 2016 se tuvo una producción de grano de maíz de 28'251,000 t, por lo que la producción nacional estimada de rastrojo de maíz fue de 31'857,511 t. El consumo nacional de materia seca es de 187'920,002 t (Gasque, 2008; Galaviz *et al.*, 2011; Vélez *et al.*, 2013; SIAP, 2017).

Con base en lo anterior, la competencia de consumo de maíz es dominada para el consumo animal. Ante las perspectivas de aumento de la demanda y sí se consideran los dos tipos de maíz que en total resultan en 31.86 millones de t (SIAP, 2017), entonces se tienen que encontrar variedades con buenos rendimientos de grano que satisfagan estas necesidades, ante un panorama de aumento en las importaciones y en la disminución de la superficie agrícola.

#### **5.4 Maíz de doble propósito**

El maíz de doble propósito es aquel del que se aprovecha su producción de grano y de rastrojo con valores altos de rendimiento (Peña *et al.*, 2008; Barroel *et al.*, 2014) y calidad (Tadeo *et al.*, 2012) en ambos productos. De acuerdo con Blümmel *et al.* (2013) para la aceptación y desarrollo del maíz de doble propósito es necesario tener compensaciones entre grano y rastrojo en términos de cantidad y calidad, teniendo incluso un potencial económico, para satisfacer las necesidades cambiantes de maíz.

Para fines de este estudio se nombrará *maíz de doble propósito* a aquel material que tenga rendimientos sobresalientes en producción de grano y de rastrojo. La principal diferencia entre las definiciones que denotan los autores se debe a que en algunos casos se le agrega al concepto que el rastrojo y grano del maíz producido sean de calidad, esto se debe a que en investigaciones referentes al tema no se han estandarizado los criterios para definir calidad.

#### **5.5 Demanda de maíz de doble propósito**

Las actuales condiciones cambiantes en el uso del suelo y el clima, así como la época de estiaje prolongada y comienzo de las lluvias a destiempo, han hecho que los pequeños productores de rumiantes busquen alternativas para alimentar a su ganado (Delgado *et al.*, 1999). Se ha encontrado un uso potencial de los residuos de tallos y hojas de las cosechas de cultivos primarios como es el caso del maíz, utilizados para la alimentación animal (NIANP, 2003; Lal, 2005, Reddy *et al.*, 2013). Esto genera demanda para encontrar variedades de maíz que satisfagan la producción de grano y también la producción de rastrojo. La demanda de maíz de doble propósito ha aumentado debido a las condiciones ambientales, económicas, políticas y sociales en las que está inmersa la producción de maíz en el mundo, es por ello por lo que es necesario optimizar cada recurso disponible para genotipo con el mayor rendimiento y utilidad posible (FIRA, 2016).

#### **5.6 Sistemas de producción de maíz en el altiplano de Puebla**

Los sistemas agropecuarios mixtos se basan principalmente en el cultivo de maíz y el aprovechamiento de la ganadería de rumiantes. Estos sistemas comprenden en México más de 2 millones de km<sup>2</sup> según Thornton *et al.* (2003), en los que está incluido el

Altiplano Poblano. En tales sistemas se produce principalmente leche y carne en minifundios (unidades de producción, menores a 5 ha) y se maneja una gran diversidad de recursos forrajeros durante la época de lluvias, entre las que están las arvenses (comúnmente conocidas como maleza). En época de lluvias y en caso de que se disponga de rastrojo, éste se combina con las arvenses que aportan la proteína cruda que necesita el ganado y mejoran la fermentación del rastrojo a nivel ruminal (Martínez *et al.*, 2011). Sin embargo, para la temporada de sequía y de heladas, el maíz se convierte en el principal recurso forrajero para alimentar al ganado (Castelán *et al.*, 1997) en diferentes formas.

En el estado de Puebla se tiene una producción de 3'910,053 t de materia seca diferenciados en 2'297,191 t provenientes de praderas y agostaderos, 1'140,263 t de residuos de cultivos, 338,547 t de cultivos forrajeros y 134,052 t de granos forrajeros (INEGI, 2015). En cambio, el consumo de materia seca es de 3'906,949 t, mostrando que hay un superávit de 3,104 t. Sí no se contara con esta aportación de los residuos de cultivos el estado tendría un déficit de 1'137,159 t de materia seca. Además de su aportación al consumo requerido de materia seca el rastrojo tiene principal importancia al representar una asociación entre agricultura y ganadería con valor económico y de espacio agrícola.

La producción de maíz en Puebla se caracteriza por realizarse en condiciones de temporal en un 73%, por agricultores minifundistas y con uso exclusivo de poblaciones nativas. En 2006 el INEGI (2015), reportó un uso de semilla de poblaciones nativas de maíz de 80%. El rendimiento estatal de grano de maíz fue de 1.7 t ha<sup>-1</sup> en riego y 1.54 t ha<sup>-1</sup> en temporal (INEGI, 2015). Un alto porcentaje de la producción se destina a cubrir necesidades básicas, ya sea en forma de grano para consumo humano o en forma de rastrojo para consumo del ganado. De acuerdo con el Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (2007), de las 240,000 unidades de producción de maíz, 180,000 utilizan poblaciones nativas y cada unidad de producción conserva de 2 a 3 poblaciones de maíz. De acuerdo con Gil *et al.* (2015), el rendimiento de grano de algunas poblaciones nativas en las microrregiones puede ser de 5.735 t ha<sup>-1</sup>.



En la zona de Cholula, Puebla, el aprovechamiento integral del maíz se realiza en mayor proporción por los minifundios. Estas unidades de producción crían ganado y siembran cultivos básicos al mismo tiempo, donde el maíz es la especie vegetal principal. En tanto, las unidades de producción con mayor superficie se enfocan a la producción de maíz para grano y venden entre 47 y 67 % de la producción, pero estas unidades sólo representan 3.5% del total de las unidades de producción agrícola (Damián *et al.*, 2011b). En las unidades que poseen menos de 3 ha, a pesar de su importancia, el rastrojo producido es insuficiente para cubrir las necesidades alimenticias del ganado, teniendo deficiencias en la producción, incluso en el mantenimiento del ganado (Damián *et al.*, 2011b). Asimismo, el rendimiento de rastrojo y grano puede ser diferente entre variedades de maíz (Muñoz *et al.*, 2013), de ahí la importancia que tiene la diversidad con que cuenta México.

Por otro lado, en estos sistemas mixtos de producción se observa que en la región el rastrojo de maíz no se usa en su totalidad, debido a que la planta se proporciona al animal completa o en trozos, y éste sólo come las partes blandas de la planta, con un desperdicio de más del 40% (Fernández, 1981). Para que el rastrojo de maíz sea aprovechado en su totalidad debe ser picado o molido a un tamaño de partícula menor para que pueda ser consumido por el ganado con más facilidad (Mendoza *et al.*, 1986).

De acuerdo con Mendoza *et al.* (1986), por citar un ejemplo, la producción de grano de maíz en la Región de Huejotzingo, Puebla, se destina principalmente a la alimentación de la población (tanto para venta, como para consumo familiar), proporcionando una pequeña parte a la alimentación de animales monogástricos (cerdos y aves, principalmente). En tanto que el rastrojo de maíz se proporciona principalmente a los animales de trabajo (equinos, bovinos, caprinos y ovinos, en orden de importancia). El rastrojo de maíz tiene gran importancia en la región debido a que la utilización de este subproducto se destina principalmente a la producción de leche de ganado bovino y bovinos de engorda a menor escala. En su trabajo de investigación, Mendoza *et al.* (1986) mencionan que, en dos comunidades de la región de Huejotzingo, Puebla, se proporciona el rastrojo de maíz al ganado en las formas de planta entera y planta picada,

mostrando que, donde se proporciona la planta entera, se tiene un aprovechamiento sólo del 50%. Esto indica a los productores de esa comunidad, que el uso de molinos de martillo puede mejorar el aprovechamiento del rastrojo por el ganado en el transcurso del año. Debido a que se reduce el volumen que ocupa originalmente el forraje, éste se puede almacenar en mayor cantidad y en mayor calidad por un mayor periodo de tiempo. Ante tal situación de desaprovechamiento del rastrojo, genotipos más digestibles de rastrojo de maíz pueden ayudar la producción de rumiantes.

### **5.7 Situación del maíz de doble propósito**

Se han realizado investigaciones en maíz para producción de doble propósito en Canadá, África (Kenia, Etiopía, Mozambique, Zimbabwe y Tanzania), Asia Meridional e India. Se han encontrado maíces sobresalientes y resistentes a condiciones adversas como el híbrido WH507 de One Acre Fund (Wawa, 2015), el NK6240 (Anandan *et al.*, 2013), el Oro de 900 M de Monsanto® en Asia (Zaidi *et al.*, 2013) y el PL894 de Syngenta1® (Ravi *et al.*, 2013). En la identificación de progenitores sobresalientes se menciona la línea derivada del CIMMYT Suwani y la amarilla temprana (Zaidi *et al.*, 2013). Los híbridos de maíz para doble propósito muestran variación genética en rendimiento de grano, calidad y cantidad de rastrojo (Estiro, 2013). En México se han comparado los maíces nativos y los híbridos, mostrando que el maíz nativo tiene cierto grado de doble propósito al superar en rendimiento de grano y rastrojo al híbrido H-137 (Aceves, 1998). No obstante, de acuerdo con Gaytán *et al.* (2009), los híbridos de doble propósito son una alternativa para incrementar la rentabilidad del maíz en el centro de México.

Cabe señalar que la mayoría de las publicaciones encontradas hacen referencia a investigaciones realizadas en ambientes tropicales y áridos de baja altitud. Sólo las investigaciones reportadas por Aceves (1998) y Muñoz *et al.* (2013) fueron realizadas en el altiplano, las cuales son un punto de comparación importante para la presente investigación.

### **5.8 Calidad del rastrojo y su mejoramiento genético**

El término de calidad del rastrojo aún es subjetivo debido a que se tienen que establecer indicadores mínimos para que un rastrojo adquiriera esta cualidad; estos indicadores se

determinan con pruebas de laboratorio donde se conoce la composición química como contenido de fracciones de fibra, digestibilidad, proteína, entre otros (Vargas 2013). El rastrojo de maíz posee una proporción nutrimental menor que el grano en cuanto a energía y proteína, pero es una buena alternativa para aprovechar este subproducto y tener una ganancia económica adicional. Según Klopfenstein (1978), el rastrojo de maíz como alimento a rumiantes, tiene alta solubilización de la hemicelulosa con lo cual aumenta la digestibilidad de la fracción fibrosa residual (Fuentes *et al.*, 2001).

Bertoia *et al.* (2002), alude que hay una variación en la cantidad de nutrientes en rastrojo, entre las variedades de maíz híbridas, pero no hay variación en digestibilidad *in vitro*; las líneas puras aumentaron la producción de rastrojo. Muñoz *et al.* (2013) indican que las poblaciones nativas pueden variar en digestibilidad y concentración de fibras de la hoja, contrastándose con variedades híbridas, las cuales tienen menor digestibilidad y mayor concentración de fibra. Estos autores a su vez compararon el rendimiento de grano y de rastrojo, mostrando que las poblaciones nativas producen más que las híbridas. La calidad del rastrojo tiene variación como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Composición nutricional del rastrojo.

<b>Grupo</b>	<b>N</b>	<b>FDN</b>	<b>FDA</b>	<b>LDA</b>	<b>DIV</b>	<b>Autores</b>
	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	
Cruza Suwani y amarilla temprana	1.24	71.1	33	3.7	51.9	Zaidi <i>et al.</i> (2013).
Híbrido NK 6240	0.91	73.9	38.9	4.0	56.6	Anandan <i>et al.</i> (2013).
NK 6240 1	1.5	69.3	37.1	3.8	54.3	Ravi <i>et al.</i> (2013).
NK 6240 2	1.82	62.7	31.1	4.3	53.3	
PL 894 1	1.23	68.9	33.8	2.9	58.8	
PL 766 1	1.56	60.7	29.5	2.5	58.6	
30 V 92	0.74	78.1	44.1	5.3	48.1	
CP 808	0.66	84.4	51.8	7.4	38.8	
CP 818	0.95	78.3	51.2	6.6	45.2	
NK 6240	1.17	75.5	43.3	5.3	47.3	
IQ 84 Amarillo	0.95	68	41.8	5.5	48.5	
IQ 297 Blanco	0.93	69.5	45.2	5.9	45.7	
276 líneas endogámicas CIMMYT África	1.1	72.5	38.5	4.1	52.6	Vinayan <i>et al.</i> (2013).
60 líneas Etiopía, Tanzania y Uganda	1.2	73.1	35.4	4.0	52.3	Reddy <i>et al.</i> (2013).
30 híbridos Etiopía, Tanzania y Uganda	0.98	71.7	38	3.7	50.5	
Nativas		72.2	37.8		60.3	Muñoz <i>et al.</i> (2013).
Híbridas		75.0	39.1		55.3	

N = Nitrógeno, FDN = Fibra detergente neutro, FDA = Fibra detergente ácido, LDA = Lignina en detergente ácido, DIV = Digestibilidad *in vitro*.

Con base en el comparativo anterior, es necesario establecer los indicadores óptimos para selección de calidad; es decir, que tengan niveles más altos de digestibilidad, proteína y azúcares solubles y más bajos en fibras. Esto permitirá establecer cruces

genéticos a fin de su mejora y de la obtención de nuevas variedades de maíz con características promisorias de calidad del rastrojo.

Se ha detectado que, en comparaciones de calidad de rastrojo entre variedades de maíz con poca variabilidad genética, existe variabilidad en la calidad del rastrojo; razón por la cual surge la posibilidad de seleccionar materiales con mayor calidad, en un posible grupo genético (Xie *et al.*, 2009; Lorenz *et al.*, 2010). En este sentido, la digestibilidad que es uno de los componentes de la calidad del rastrojo, es una variable que posee mayor heredabilidad con un rango de 0.603 a 0.693 (Le Buanec, 1994), y que a su vez posee mayor variabilidad. Aludiendo a lo anterior, se tiene un gran potencial para selección de variedades con mayor digestibilidad. En cuanto a la correlación entre calidad del forraje y rendimiento de grano es poco significativo, incluso llega a ser nula (Ørskov, 1991; Coors *et al.*, 1997), es por ello por lo que estas cualidades podrían mejorarse sin disminuir sus propiedades entre sí.

### **5.9 Diversidad genética de maíz de doble propósito**

El maíz tiene diversidad amplia en México, como lo demuestran las 59 razas descritas (Sánchez *et al.*, 2000). Un estudio realizado en Guerrero, México por Jiménez *et al.* (2010), mostró que 80% de las poblaciones nativas tuvieron rendimientos de grano igual a las variedades híbridas, donde se encontró que la población nativa COL-C2, superó en 1.948 t ha<sup>-1</sup> a la variedad híbrida H-507 en producción de grano. Las poblaciones nativas en condiciones de temporal superan a testigos de variedades híbridas en producción de rastrojo, y en algunos casos también los superan en producción de grano (Muñoz *et al.*, 2013). De acuerdo con Aceves *et al.* (2002), la variedad híbrida H-137 fue superada en rendimiento de grano y rastrojo por la población nativa binomio criollo-nicho, en condiciones limitativas. El Cuadro 2 muestra la diversidad de maíz de doble propósito que se ha encontrado en el mundo, así como los rendimientos de rastrojo y de grano que han producido.

**Cuadro 2.** Comportamiento productivo de maíz de doble propósito.

<b>Grupo</b>	<b>RGR</b> <b>(kg ha<sup>-1</sup></b> <b><sup>1)</sup></b>	<b>RMS</b> <b>(kg</b> <b>ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>RHT</b>	<b>DFM</b> <b>(d)</b>	<b>DFF</b> <b>(d)</b>	<b>ALP</b> <b>(m)</b>	<b>ALM</b> <b>(m)</b>	<b>Autores</b>
<b>Cruza Suwani y amarilla temprana</b>	3305	994						Zaidi <i>et al.</i> (2013).
<b>Híbrido NK 6240</b>	10138	7334				2.1		Anandan <i>et al.</i> (2013).
<b>276 líneas endogámicas CIMMYT de África</b>	1486	2816		58.5	64.7	1.29		Vinayan <i>et al.</i> (2013).
<b>60 líneas Etiopía, Tanzania y Uganda</b>	2754	3814						
<b>30 híbridos Etiopía, Tanzania y Uganda</b>	5113	4603						Reddy <i>et al.</i> (2013).
<b>Nativas Híbrido H-137</b>	5870	7076		102.4	107.7			Aceves <i>et al.</i> (2002).
<b>Nativas Híbridas</b>	5812	2452	1.5		126.3	1.8	1.0	Muñoz <i>et al.</i> (2013).
	3848	2544	2.0		124.2	1.4	0.6	

RGR: Rendimiento de grano, RMS: Rendimiento de materia seca, RHT: Relación hoja-tallo, DFM: Días a floración masculina, DFF: Días a floración femenina, ALP: Altura de planta, ALM: Altura a la mazorca.

Los materiales genéticos encontrados como de doble propósito se han desarrollado en ambientes tropicales y áridos, lo que hace suponer que se pueden encontrar genotipos en climas templados y de mayor altitud con rendimientos sobresalientes tanto en grano, como en forraje y digestibilidad. Los materiales genéticos utilizados en México no son considerados de doble propósito, sino que han mostrado tener potencial diferenciado para producción de grano o de rastrojo (Aceves *et al.* 2002; Anandan *et al.* 2013; Muñoz *et al.* 2013; Reddy *et al.* 2013; Vinayan *et al.* 2013; Zaidi *et al.* 2013), por lo que identificando los más sobresalientes en estos caracteres, se podrá seleccionar un maíz de doble propósito que tenga estas bases genéticas. Por tanto, surge la necesidad de identificar aquellos apropiados para ambientes templados y de mayor altitud, uno de los propósitos con base en los materiales genéticos utilizados en el presente estudio.

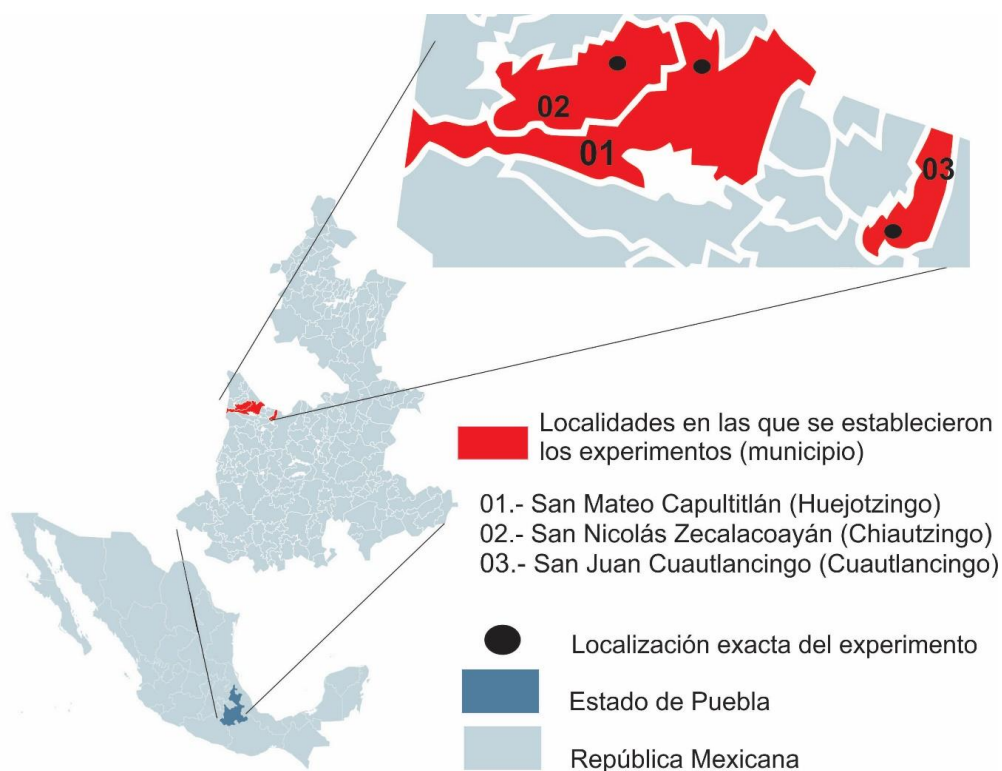
## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

El Altiplano Central Mexicano comprende altitudes entre los 2000 y 2800 m. El área de estudio se ubicó en el altiplano poblano, con predominio del clima templado, con lluvias en verano y rango de precipitación de 900 a 1100 mm (INEGI, 2009; SAGARPA *et al.*, 2015).

### 6.2 Localización de experimentos

Se establecieron tres experimentos (Figura 1); uno en San Mateo Capultitlán, municipio de Huejotzingo, situado en los paralelos 19° 12' 14" N y 98° 25' 38" O, a una altitud de 2281 m. Otro en San Nicolás Zecalacoayan, municipio de Chiautzingo, situada en las coordenadas 19° 12' 27" N y 98° 29' 41" O, a una altitud de 2489 m. Un tercer experimento se localizó en San Juan Cuautlancingo, municipio del mismo nombre, ubicado en las coordenadas 19° 04' 58" N y 98° 17' 03" O, con altitud de 2164 m (INEGI, 2018).



**Figura 1.** Localización de los experimentos por municipio en la Región Altiplano de



### 6.3 Material genético

Se utilizaron 36 genotipos, incluyendo entre ellos a nueve poblaciones locales sobresalientes (PLS), 19 híbridos experimentales de cruce simple (HCS), una variedad sintética (VS) y siete híbridos comerciales (HC) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Genotipos de maíz evaluados en el altiplano poblano, 2017.

HCS=Híbrido de Cruza Simple, PL=Población de Polinización Libre, VS=Variedad Sintética, HC=Híbrido Comercial.

Material	Denominación	Origen	Tipo	Color Grano
1	Híbrido experimental	SM-16, 5x64	HCS	Blanco
2	Híbrido experimental	SM-16, 13x44	HCS	Blanco
3	Híbrido experimental	SM-16, 21x64	HCS	Blanco
4	Híbrido experimental	SM-16, 22x64	HCS	Blanco
5	Híbrido experimental	SM-16, 23x60	HCS	Blanco
6	Híbrido experimental	SM-16, 44x64	HCS	Blanco
7	Híbrido experimental	SM-16, 53x64	HCS	Blanco
8	Híbrido experimental	SM-16, 58x21	HCS	Blanco
9	Híbrido experimental	SM-16, 60x66	HCS	Blanco
10	Híbrido experimental	SM-16, 61x21	HCS	Blanco
11	Híbrido experimental	SM-16, 63x21	HCS	Blanco
12	Híbrido experimental	SM-16, 64x66	HCS	Blanco
13	Híbrido experimental	SM-16, 121x142	HCS	Amarillo
14	Híbrido experimental	SM-16, 122x142	HCS	Amarillo
15	Híbrido experimental	SM-16, 123x142	HCS	Amarillo
16	Híbrido experimental	SM-16, 124x142	HCS	Amarillo
17	Híbrido experimental	SM-16, 125x142	HCS	Amarillo
18	Híbrido experimental	SM-16, 136x142	HCS	Amarillo
19	Población local sobresaliente (PLS)	SM-16, 166 #	PL	Rojo
20	Población local sobresaliente (PLS)	SM-15, 218 #	PL	Azul
21	Híbrido experimental	SM-15, 137x135	HCS	Blanco

22	Población local sobresaliente (PLS)	HQ-15, 25 #	PL	Amarillo
23	CPue-00089 (PLS)	ZAC-CP-14, 21 #	PL	Azul
24	CPue-00157 (PLS)	ZAC-CP-14, 22 #	PL	Blanco
25	CPue-00174 (PLS)	ZAC-CP-14, 23 #	PL	Blanco
26	CPue-00369 (PLS)	ZAC-CP-14, 28 #	PL	Blanco
27	CPue-00406 (PLS)	ZAC-CP-14, 29#	PL	Amarillo
28	Tropical-1 <sup>®</sup>	ColPos	VS	Blanco
29	CPue-00316 (PLS)	Altzayanca, Tlax.	PL	Amarillo
30	HS-2 <sup>®</sup>	ColPos	HC	Blanco
31	Imparable <sup>®</sup>	Berentsen	HC	Blanco
32	Águila 215W <sup>®</sup>	Semillas Lobo S.A. de C.V.	HC	Blanco
33	SB 352 Deseado <sup>®</sup>	Berentsen	HC	Blanco
34	SBA 404 Bárbaro <sup>®</sup>	Berentsen	HC	Amarillo
35	SBA-470 Conquistador <sup>®</sup>	Berentsen	HC	Amarillo
36	Niebla <sup>®</sup>	Ceres	HC	Blanco

HCS=Híbrido de Cruza Simple, PL=Población de Polinización Libre, VS=Variedad Sintética, HC=Híbrido Comercial.

#### 6.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el látice triple 6 x 6, en San Mateo Capultitlán y en San Nicolás Zecalacoayan, y el látice simple en San Juan Cuautlancingo. La unidad experimental constó de dos surcos de 0.8 x 5.2 m, para una superficie de 8.32 m<sup>2</sup> por unidad experimental.

El modelo estadístico fue:

$$y_{ijk} = \mu + \beta_j + b_k (\beta_j) + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media general

$B_j$  = Efecto del bloque

$b_k$  = Efecto del sub-bloque

$T_i$  = Efecto del material

$E_{ijk}$  = Error experimental

Los datos de las variables estudiadas fueron sometidos al análisis de varianza y a la prueba de comparación de medias de Tukey, a un nivel de significancia de 0.05 y separadas por la diferencia mínima significativa (Steel y Torrie, 1981). Los análisis se realizaron con el sistema SAS (Statistical Analysis System), versión 9.4 (SAS Institute, 2008).

## **6.5 Manejo y conducción experimental**

### **6.5.1 Preparación del terreno**

En cada sitio experimental se realizó un barbecho profundo, y posterior a este, se efectuaron dos pasos de rastra. Se surcó utilizando tracción animal.

### **6.5.2 Densidad de siembra y de población**

La siembra se realizó manualmente con pala, con una distancia entre matas de 0.4 m. Se depositaron tres semillas por mata y después de la primera escarda se realizó un aclareo para dejar dos plantas por mata, para una densidad de población de 62,500 plantas  $ha^{-1}$ . Esta tuvo lugar el 26 de abril de 2017 en San Mateo Capultitlán, y el 13 y 15 de mayo en San Nicolás Zecalacoayan y San Juan Cuautlancingo, respectivamente.

### **6.5.3 Fertilización**

Se empleó la fórmula 120-50-50, aplicando 1/3 de Nitrógeno, todo el Fósforo y todo el Potasio a la siembra, y el resto del Nitrógeno en la segunda escarda. Como fuentes de fertilización se utilizaron Triple 17 y Urea.

### **6.5.4 Control de maleza y labores culturales**

El control de la maleza se realizó manualmente. La primera escarda se llevó a cabo el 31 de mayo en San Mateo Capultitlán, en San Nicolás Zecalacoayan se realizó el 14 de

junio, y el 16 de junio en San Juan Cuautlancingo. La segunda escarda tuvo lugar el 19 de julio en San Mateo Capultitlán, el 20 de julio en San Nicolás Zecalacoayan y el 21 de julio en San Juan Cuautlancingo.

#### **6.5.4 Condiciones ambientales durante el desarrollo del experimento**

La temperatura y humedad relativa fueron medidas en el área de estudio con un datalogger, durante el periodo del 26 de abril al 25 de noviembre de 2017, en la localidad de San Mateo Capultitlán. Los datos de precipitación fueron obtenidos de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, de la Comisión Nacional del Agua y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (SMN-CNA, 2018; INIFAP, 2018) utilizándose los datos promedio de los tres sitios experimentales. Con la información obtenida del datalogger se realizó una figura del déficit de presión de vapor (Beluzán, 2013), para identificar sequías prolongadas durante el experimento.

#### **6.5.5 Muestreo de plantas y preparación para el análisis de laboratorio**

De cada unidad experimental se cortaron cuatro plantas representativas de la variación fenotípica y con competencia completa. Dentro de cada experimento la toma de muestras fue diferencial, en función del grado aparente de secado de las plantas en las distintas unidades experimentales, tomando en consideración aspectos como la caída de hojas, la coloración del tallo y la madurez de la mazorca (Figura 2).

El muestreo en San Mateo Capultitlán se llevó a cabo del 27 al 29 de octubre de 2017; en Cuautlancingo del seis al ocho de noviembre, y en San Nicolás Zecalacoayan del 23 al 25 de noviembre. Las plantas que conformaron la muestra se cortaron al ras del suelo y se picaron a un tamaño de trozo de 10 a 35 cm, sin picar las mazorcas, hojas y espigas; luego se colocaron en costales de rafia y se registró el peso fresco por muestra, utilizando una balanza digital con capacidad de 6.0 kg. El pesaje se realizó del 27 de octubre al 25 de noviembre de 2017.

Todas las muestras se expusieron al sol para su secado, pesándolas cada 24 horas hasta que perdieran 30 a 35% de humedad. Posteriormente, se secaron en una estufa de aire forzado a temperatura de 60 °C, pesándolas cada 24 horas hasta que todas las

muestras perdieran 65 a 70% de humedad. Este proceso se realizó del 27 de octubre de 2017 al 14 de marzo de 2018.

Una vez secas a la humedad deseada, cada muestra fue separada en las fracciones de hoja, tallo, pedúnculos y totomoxtle (brácteas que envuelven la mazorca), luego cada parte de la muestra fue pesada en una balanza gravimétrica con capacidad de 2.5 kg. Esta actividad se efectuó del 17 de diciembre de 2017 al 18 de marzo de 2018.

Se procedió a pre moler las muestras a un tamaño de partícula aproximado de 3 mm. Esto se hizo para un mejor manejo e integración de la muestra y facilitar el molido fino. El premolido se realizó del 17 al 19 de marzo de 2018. Posteriormente, las muestras se molieron en un molino ciclónico marca FOSS TECATOR®, a un tamaño de partícula de 1 mm, para el análisis de laboratorio. La molido se realizó del 22 de marzo al 3 de mayo de 2018.



**Figura 2.** Imagen representativa de selección de planta para cosecha. San Nicolás Zecalacoayan, 2017.

## **6.6 Variables de estudio**

### **6.6.1 Variables de campo**

#### **6.6.1.1 Días a floración masculina (DFM)**

Se inició el conteo de plantas que presentaron antesis (emisión de polen por las anteras en las espigas) hasta que se alcanzó el 50 % de la población de plantas de la unidad experimental en la misma condición. Se tomó la lectura de la floración cada tres días y el resultado se expresa en número de días.

#### **6.6.1.2 Días a floración femenina (DFF)**

Se contaron las plantas que tuvieran estigmas expuestos, hasta que el 50 % de la población de plantas de la unidad experimental estuviera en la misma condición. Se tomó la lectura de la floración cada tres días y el resultado se expresó en número de días.

#### **6.6.1.3 Altura de la planta (APL)**

Una vez que las plantas alcanzaron la floración masculina y femenina se midieron cuatro plantas por cada unidad experimental, desde la base del suelo hasta el inicio de la espiga.

#### **6.6.1.4 Altura de la mazorca (AMZ)**

Representó la distancia desde la base del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior.

#### **6.6.1.5 Rendimiento del grano (RGR)**

Las plantas remanentes en cada unidad y sitio experimental se cosecharon una vez que la humedad del grano estuvo cercana a la humedad comercial, para posteriormente proceder a la estimación del rendimiento por unidad de superficie. Para ello, en cada unidad experimental al momento de la cosecha, se registró el peso de campo y se tomó una muestra de cinco mazorcas de las cuales se documentó el peso fresco; luego estas mazorcas se secaron al sol hasta peso constante, se desgranaron y se obtuvo el porcentaje de grano, así como el peso final de la muestra. Por diferencia de peso, se determinó el porcentaje de humedad.

El rendimiento de grano por hectárea se obtuvo luego de ajustar el peso de campo por el porcentaje de grano y porcentaje de humedad de la muestra. Al peso de campo se

sumó el peso de las mazorcas que fueron cosechadas previamente para los estudios de laboratorio. Finalmente, el rendimiento obtenido se estandarizó a un 14% de humedad comercial.

#### **6.6.1.6 Rendimiento de materia seca (RMS) de rastrojo**

El rendimiento de materia seca del rastrojo se estimó dividiendo el peso de la muestra entre el número de plantas de la muestra, y multiplicando por la densidad de población por hectárea.

#### **6.6.1.7 Rendimiento de materia seca de hoja (RHS) en rastrojo**

El rendimiento de materia seca de hoja del rastrojo se estimó dividiendo el peso de la muestra entre el número de plantas de la muestra, y multiplicando por la densidad de población por hectárea.

#### **6.6.1.8 Rendimiento materia seca de tallo (RTS) en rastrojo**

El rendimiento de materia seca de tallo del rastrojo se estimó dividiendo el peso de la muestra entre el número de plantas de la muestra, y multiplicando por la densidad de población por hectárea.

#### **6.6.1.9 Relación hoja-tallo (RHT)**

Para estimar la relación hoja-tallo se pesó por separado cada una de las partes (hoja y tallo), y se dividió el peso de la hoja entre el peso del tallo.

### **6.6.2 Variables de calidad del rastrojo**

#### **6.6.2.1 Fibra detergente neutro (FDN)**

Para determinar FDN, se pesó una muestra de forraje molido de  $0.5 \pm 0.0015$  g de materia seca; se lavó con una solución de detergente neutro para disolver el contenido celular (almidones y fructosanos). El residuo fue lo correspondiente a la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). Se utilizó un analizador de Fibra ANKOM<sup>200/220</sup>, siguiendo los protocolos de Ankom Technology (2011). Se realizó por duplicado, y el resultado se presenta en porcentaje.



#### **6.6.2.2 Fibra detergente ácido (FDA)**

En secuencia de la determinación de la FDN, se determinó la FDA por duplicado. Se utilizó una solución de detergente ácido, para extraer la hemicelulosa. Los remanentes (celulosa y lignina) fueron pesados para calcular la FDA que se expresó en porcentaje. Se utilizó un analizador de Fibra ANKOM<sup>200/220</sup>, siguiendo los protocolos de Ankom Technology (2011).

#### **6.6.2.3 Lignina en detergente ácido (LDA)**

En secuencia de la FDA, se utilizó ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 72%, utilizando los protocolos de Ankom Technology (2011). Se realizó por duplicado y el resultado se expresa en porcentaje.

#### **6.6.2.4 Digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS)**

Se determinó la digestibilidad enzimática *in vitro* con la muestra representativa de 0.3 ± 0.0015 g de materia seca en bolsas ANKOM F57, por duplicado, mediante la técnica de dos etapas pepsina-celulosa (Jones y Hayward, 1975; Clarke *et al.*, 1982). La primera etapa fue la digestión con pepsina y la segunda fue la digestión con celulasa. Cada etapa tuvo una duración de 48 h en una incubadora de digestión orbital a 50°C y a 80 rpm. Primeramente, con enzimas de SIGMA-ALDRICH® con 8.2 g de pepsina (1:10,000 de mucosa de estómago de porcino) disuelta en 1.23 l de solución de ácido clorhídrico (HCl) al 0.125 N. Posteriormente, la celulasa Onozuka RS de *Trichoderma viride* se disolvió en buffer acetato; 4.1 g de acetato de sodio anhidro y 2.9 ml de ácido acético por litro de agua destilada. El resultado se expresó en porcentaje.

#### **6.6.2.5 Proteína cruda (PC)**

Se determinó el porcentaje de proteína cruda con 0.2 g de muestra de materia seca, bajo el procedimiento Micro Kjeldahl de la A.O.A.C. (1995). Con esta técnica, en la digestión, el nitrógeno orgánico se transforma en sulfato de amonio, el cual se neutraliza con hidróxido de sodio (NaOH) 1N, después se destila en una solución de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Se realizó por duplicado, y el resultado se presentó en porcentaje de nitrógeno.

### **6.6.3 Rendimiento útil (RUT)**

Para determinar el rendimiento útil se multiplicó el porcentaje de digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) por el rendimiento de materia seca (RMS) en rastrojo y a lo anterior se le sumó el rendimiento de grano (RGR) de cada uno de los materiales de maíz evaluados. Esta variable es la que muestra con mayor facilidad los mejores materiales de doble propósito.

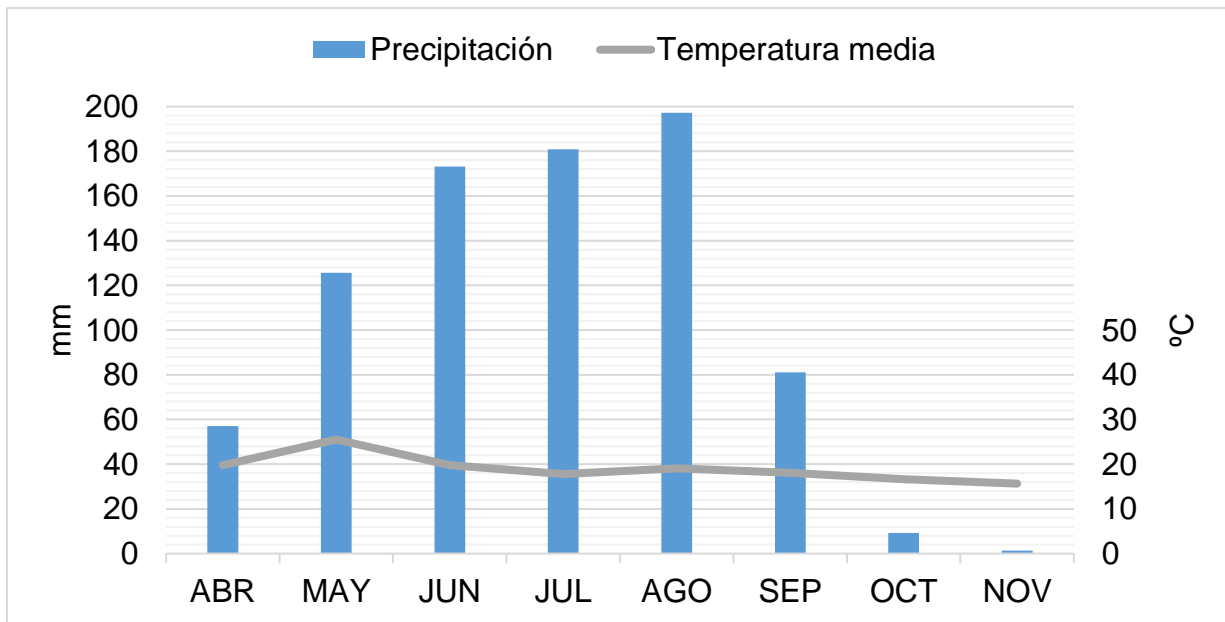
### **6.7 Correlación entre variables**

A los datos de las 15 variables estudiadas se les determinó el coeficiente de correlación Pearson,  $N=288$  Prob  $> |r|$  suponiendo  $H_0: \rho=0$ . Los análisis se realizaron con el sistema SAS, Statistical Analysis System, versión 9.4 (SAS Institute, 2008).

## 7. RESULTADOS

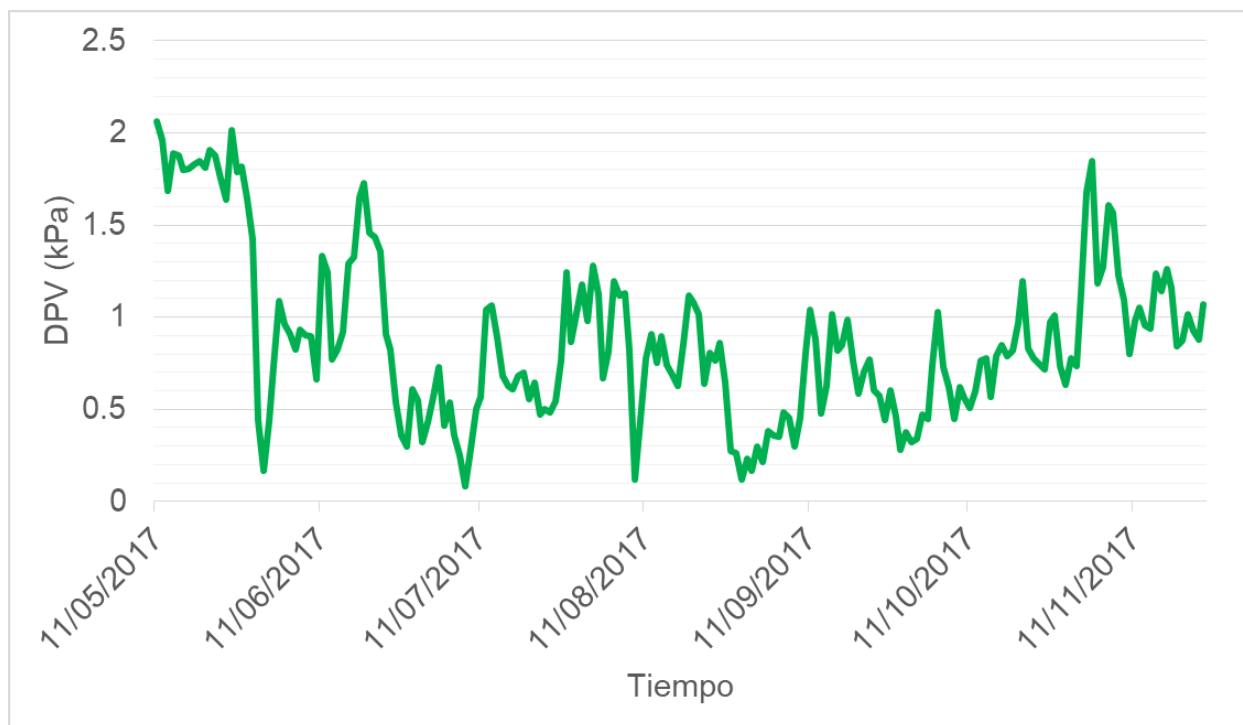
### 7.1 Condiciones ambientales durante el desarrollo del experimento

Las temperaturas medias en el experimento ubicado en San Mateo Capultitlán, Municipio de Huejotzingo, Puebla y las precipitaciones promedio mensuales (SMN-CNA, 2018; INIFAP, 2018) de las tres localidades se muestran en la Figura 3.



**Figura 3.** Temperatura promedio (°C) registrada en San Mateo Capultitlán, Municipio de Huejotzingo, Puebla y las precipitaciones promedio mensuales (SMN-CNA, 2018; INIFAP, 2018) de las tres localidades.

Además, el indicador de déficit de presión de vapor (DPV) (Beluzán, 2013) dentro de la Figura 4 muestra que no hubo un periodo prolongado de sequía que pudiera haber derivado en pérdida de material vegetal o en la disminución de rendimiento de grano y rendimiento de materia seca de rastrojo.



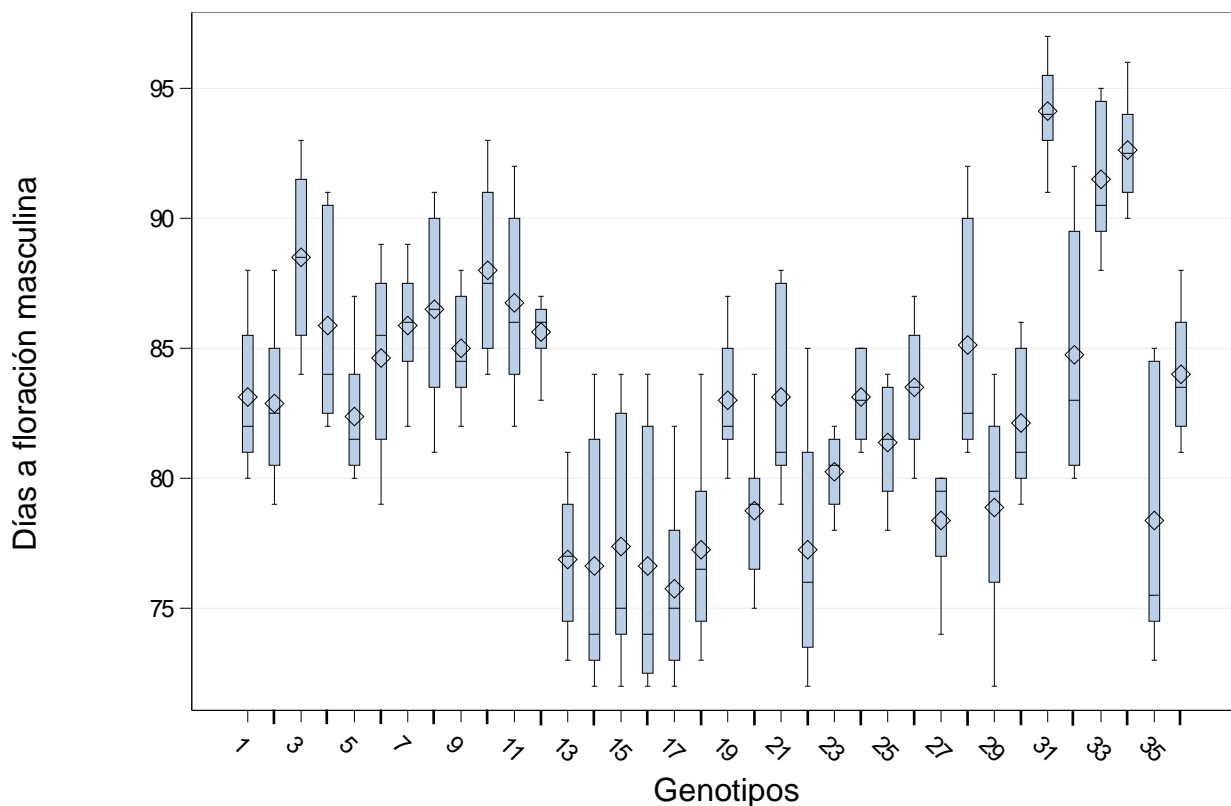
**Figura 4.** Distribución del déficit de presión de vapor (DPV) en el periodo del 11 de mayo al 25 de noviembre de 2017, en San Mateo Capultitlán, Huejotzingo, Puebla.

## 7.2 Variables de campo

### 7.2.1 Días a floración masculina (DFM)

Los genotipos de maíz fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en días a floración media masculina (Figura 5). El promedio fue de 83 días; los resultados se dividieron en tres grupos. El grupo que presentó el mayor número de DFM ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 31: Imparable<sup>®</sup> con 94 días, 34: SBA 404 Bárbaro<sup>®</sup> con 93 días y 33: SB 352 Deseado<sup>®</sup>; este grupo presentó un rango de 94 a 92 días. El grupo que presentó el mediano número de DFM ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 3, 10, 11, 8, 4, 7, 12, 28, 9, 32, 6, 36, 26, 21, 1, 24, 19, 2, 5, 30, 25 y 23 que fueron 13 híbridos de cruce simple, una variedad sintética, cinco poblaciones locales y tres híbridos comerciales, con un rango de 88 a 80 días. Por último, el grupo que presentó el menor número de días ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 29, 20, 27, 35, 15, 22, 18, 13, 14, 16: SM-16 124x142 con 77 días y 17: SM-16 125x142 con 76

días, de los cuales cuatro fueron poblaciones locales de polinización libre, seis híbridos de cruce simple y un híbrido comercial; este grupo presentó un rango de 78 a 76 días.



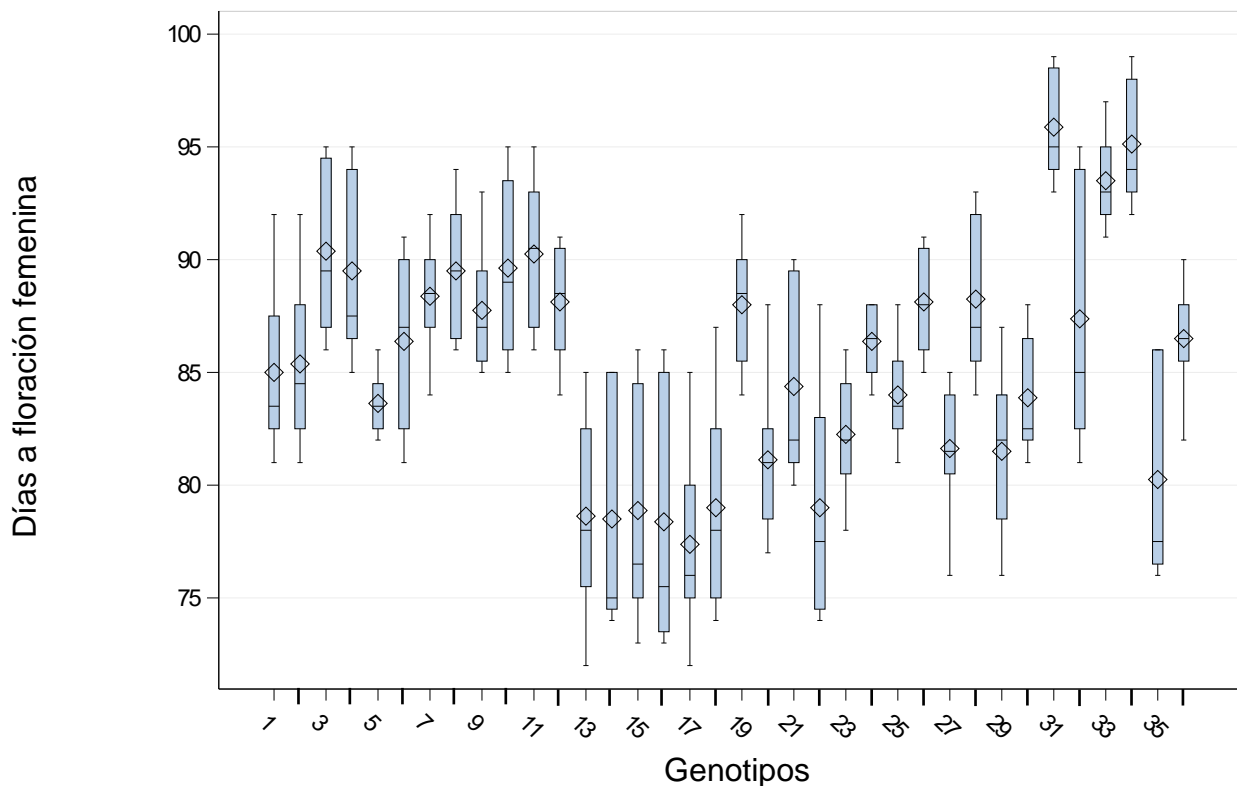
**Figura 5.** Distribución del periodo de Días a Floración Masculina (DFM) de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.2.2 Días a floración femenina (DFF)

Hubo diferencias entre los genotipos de maíz evaluados ( $P < 0.0001$ ) con base en floración media femenina (Figura 6), con un valor promedio de 85 días. El grupo que presentó el mayor número de DFF ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 31: *Imparable*<sup>®</sup> con 96 días, 34: *SBA 404 Bárbaro*<sup>®</sup> con 95 días y 33 *SB 352 Deseado*<sup>®</sup>; este grupo presentó un rango de 96 a 94 días.

El grupo que presentó el mediano número de DFF ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 3, 11, 10, 4, 8, 7, 28, 26, 12, 19, 9, 32, 36, 6, 24, 2, 1, 21, 25, 30, 5, 23, 27, 29 y 20, con un rango de 90 a 81 días. Por último, el grupo que presentó el menor número de días ( $P \leq$

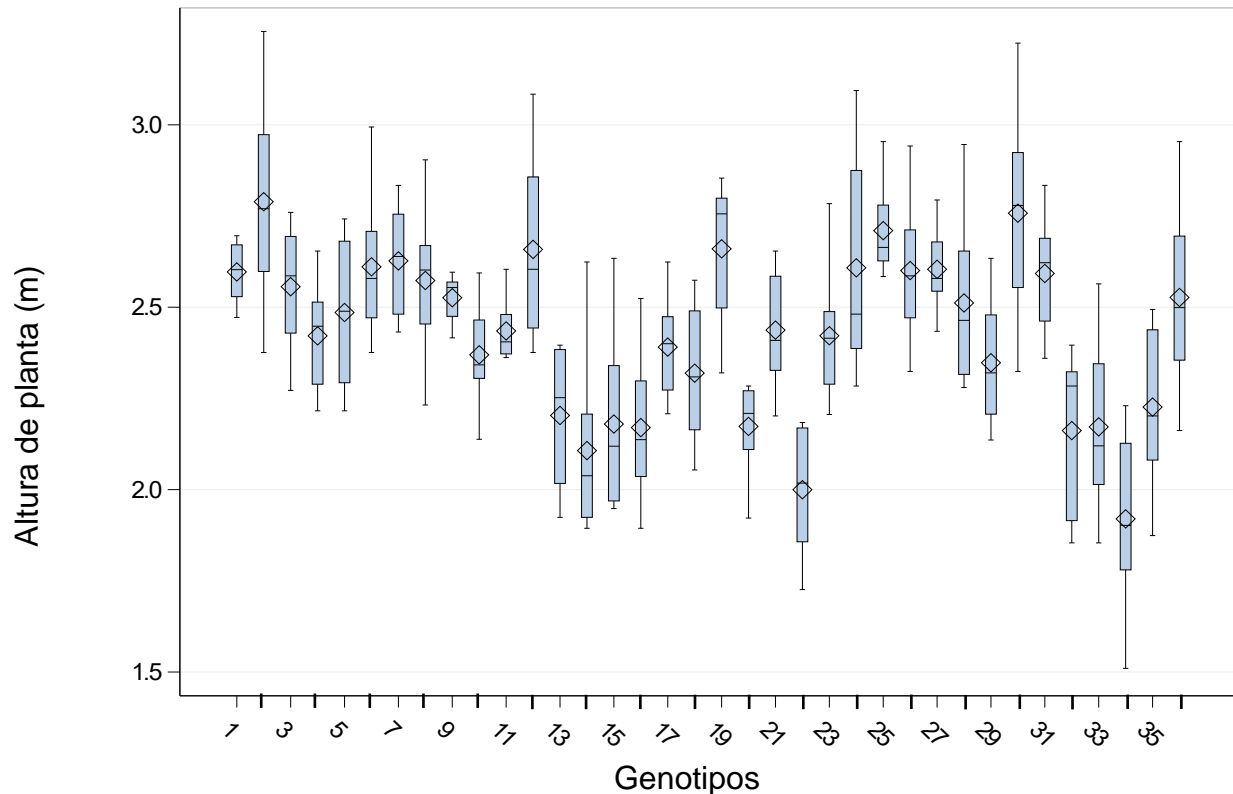
0.05) fue el de los genotipos 35, 22, 18, 15, 13, 14, 16: SM-16 125x142 con 78 días y 17: SM-16 124x142 con 77 días; este grupo presentó un rango de 80 a 77 días.



**Figura 6.** Distribución del periodo de Días de Floración Femenina (DFF) de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.2.3 Altura de la planta (ALP)

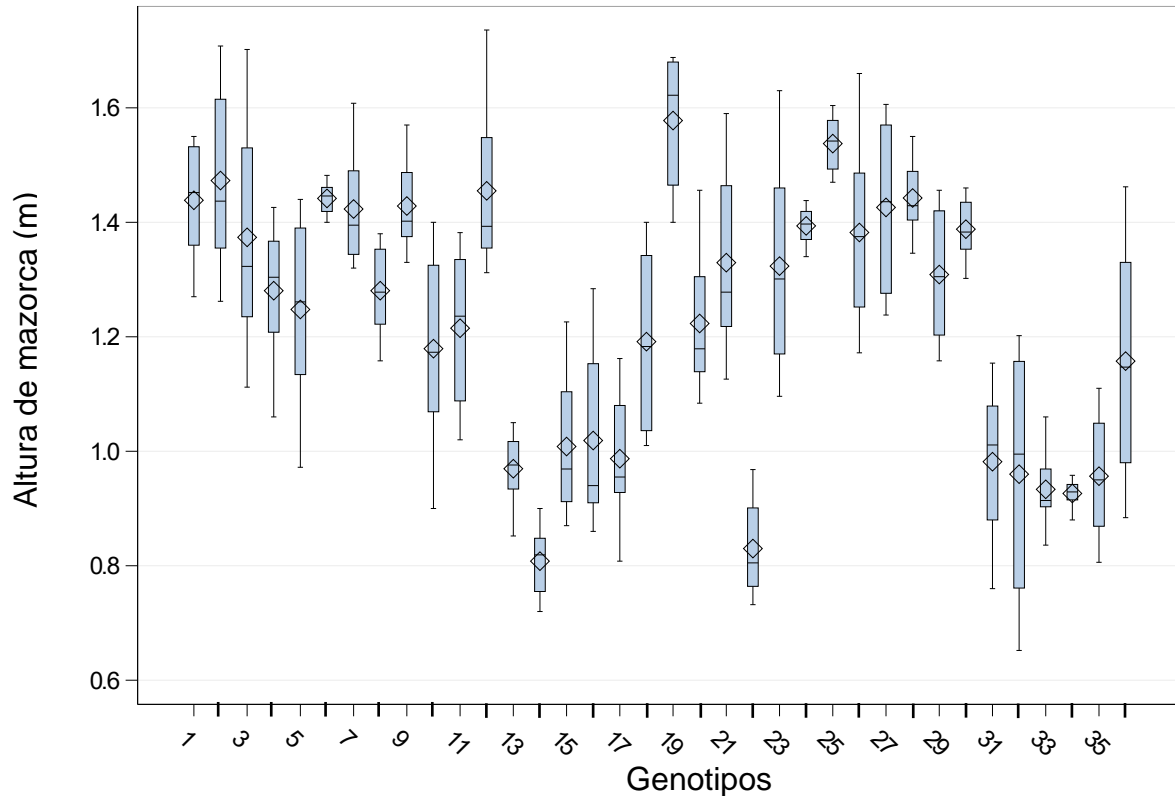
Los genotipos de maíz fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en ALP (Figura 7), con un promedio de 2.4 m. El grupo que presentó la mayor ALP ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 2: SM-16 13x44 con 2.78 m, 30: HS-2<sup>®</sup> con 2.75 m, 25, 19, 12, 7, 6, 24, 27, 26, 1, 31, 8, 3, 36, 9, 28, 5, 21 y 11; este grupo presentó un rango de 2.7 a 2.4 m. El grupo que presentó la mediana ALP ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 23, 4, 17, 10, 29 y 18; con un rango 2.4 a 2.3 m. Por último, el grupo que presentó la menor ALP ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 35, 13, 15, 20, 33, 16, 32, 14, 22: HQ-15 25 # con 1.99 m y 34: SBA 404 Bárbaro<sup>®</sup> con 1.91 m; este grupo presentó un rango de 2.2 a 1.91 m.



**Figura 7.** Distribución de altura de planta de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

#### 7.2.4 Altura a la mazorca (ALM)

Los genotipos de maíz fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en la ALM (Figura 8). El promedio fue de 1.2 m. El grupo que presentó la mayor ALM ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 19: SM-16 166 # con 1.57 m, 25: CPue-00174 con 1.53 m, 2, 12, 28, 6, 1, 9, 27, 7, 24, 30, 26, y 3; este grupo presentó un rango de 1.5 a 1.37 m. El grupo que presentó la mediana ALM ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 21, 23, 29, 8, 4, 5, 20, 11, 18, 10 y 36; con un rango 1.32 a 1.15 m. Por último, el grupo que presentó la menor ALM ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 16, 15, 17, 31, 13, 32, 35, 33, 34, 22: HQ-15 25 # con 0.83 m y 14: SM-16 122x142 con 0.80 m; este grupo presentó un rango de 1.01 a 0.80 m.



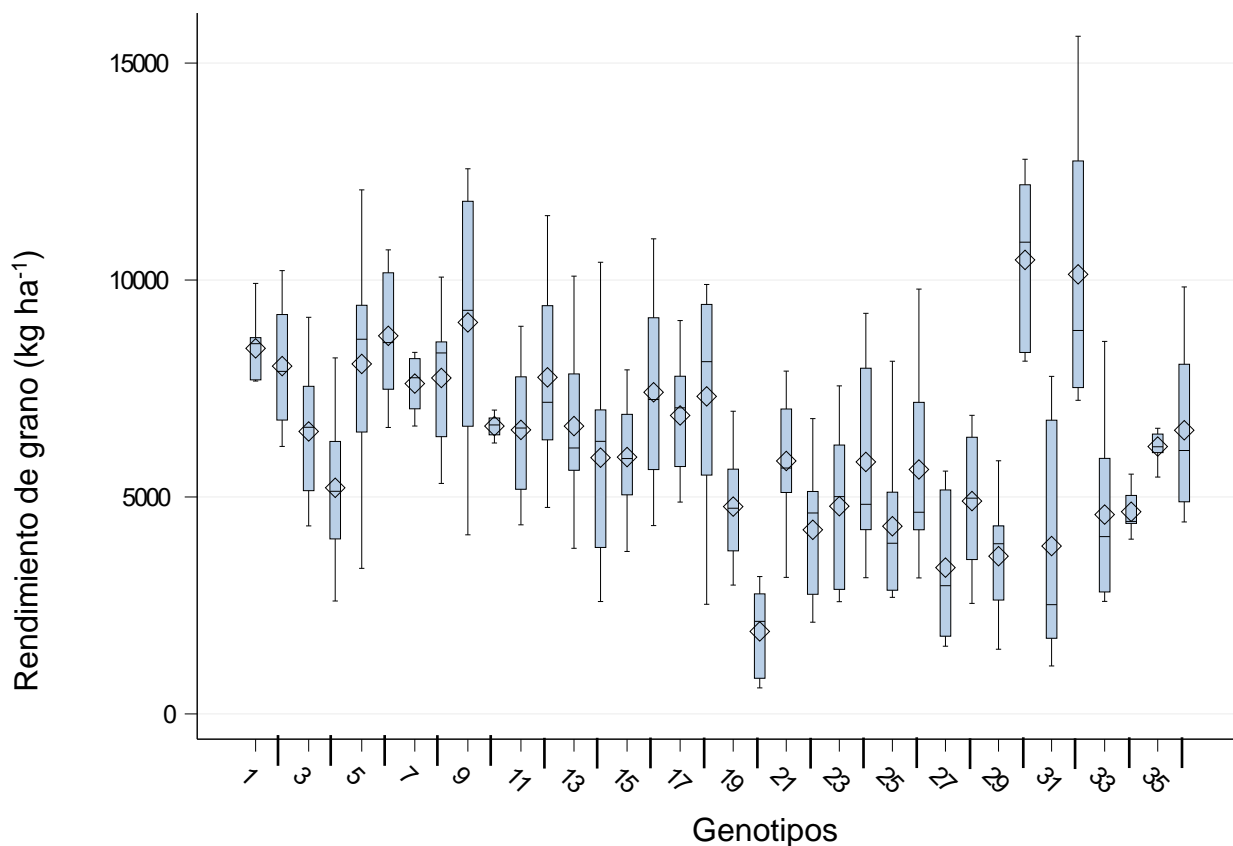
**Figura 8.** Distribución de altura a la mazorca de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.2.5 Rendimiento del grano (RGR)

Los genotipos evaluados fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en el RGR (Figura 9), con un rendimiento promedio de  $6276.8 \text{ kg ha}^{-1}$ . El grupo que presentó el mayor RGR ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 30, 32, 9, 6, 1, 5, 2, 12 y 8 (HS-2<sup>®</sup>, Águila 215W<sup>®</sup>, SM-16 60x66, SM-16 44x64, SM-16 5x64, SM-16 23x60, SM-16 13x44, SM-16 64x66 y SM-16 58x21); este grupo presentó un rango de 10464 a 7743  $\text{kg ha}^{-1}$ . El grupo que presentó el mediano RGR ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 7, 16, 18, 17, 10, 13, 11, 36, 3, 35, 15, 14, 21, 24, 26, 4, 28, 23 y 19; con un rango 7613 a 4778  $\text{kg ha}^{-1}$ , este grupo incluye doce Híbridos de Cruza Simple, cuatro Poblaciones de Polinización Libre, una Variedad Sintética y dos Híbridos Comerciales. Por último, el grupo que presentó el menor RGR ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 34, 33, 25, 22, 31, 29, 27 y 20; este grupo presentó un rango de 4660 a



1901 kg ha<sup>-1</sup>, cinco de ellos son Poblaciones de Polinización Libre, y tres de ellos son Híbridos Comerciales.

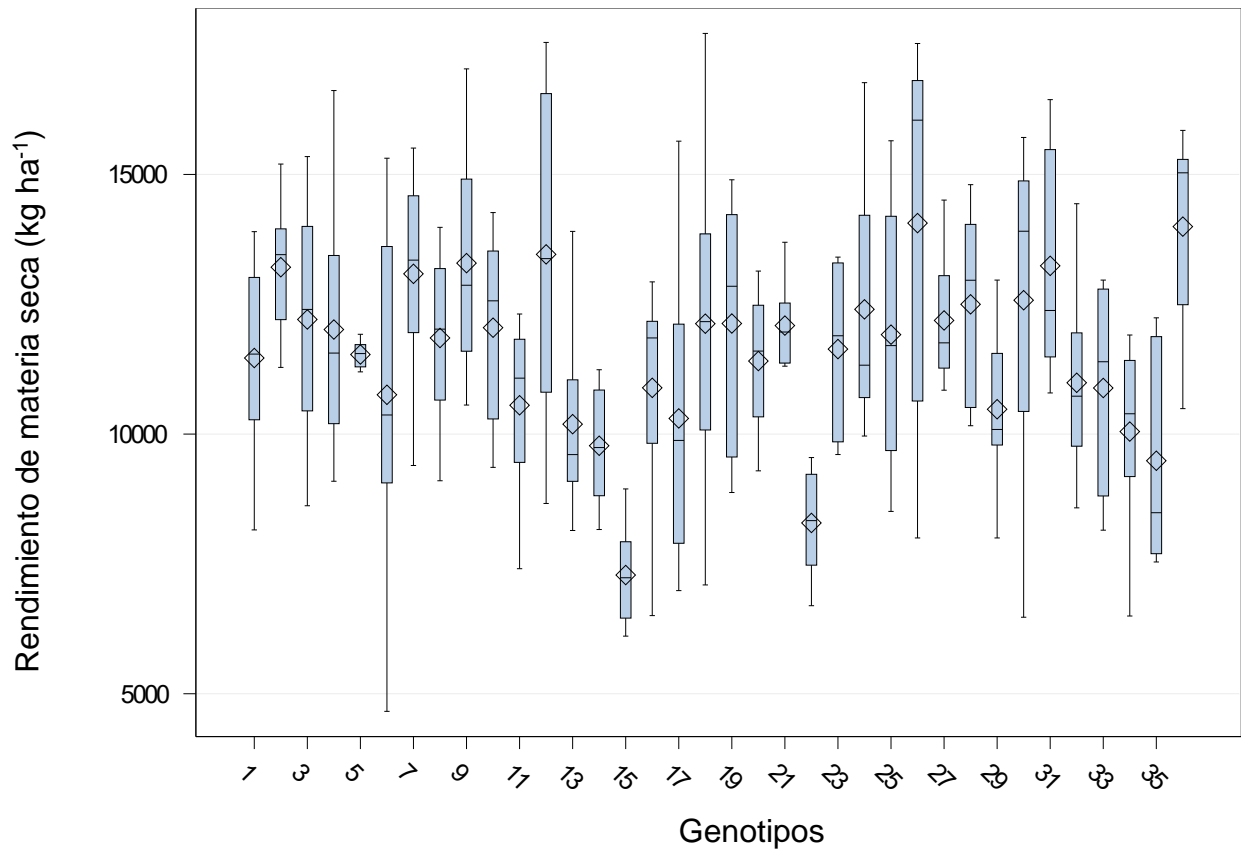


**Figura 9.** Distribución del rendimiento de grano de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.2.6 Rendimiento de materia seca (RMS) de rastrojo

Los genotipos de maíz fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en el RMS (Figura 10). El promedio fue de 11566 kg MS rastrojo ha<sup>-1</sup>. El grupo que presentó el mayor RMS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 26, 36, 12, 9, 31, 2, 7, 30, 28, 24, 3, 27, 19, 18, 21, 10, 4, 25, 8, 23, 5 y 1 (CPue-00369, Niebla<sup>®</sup>, SM-16 64x66, SM-16 60x66, Imparable<sup>®</sup>, SM-16 13x44, SM-16 53x64, HS-2<sup>®</sup>, Tropical-1<sup>®</sup>, CPue-00157, SM-16 21x64, CPue-00406, SM-16 166 #, SM-16 136x142, SM-15 137x135, SM-16 61x21, SM-16 22x64, CPue-00174, SM-16 58x21, CPue-00089, SM-16 23x60 y SM-16 5x64.); con un rango de 14063 a 11465 kg ha<sup>-1</sup>, de

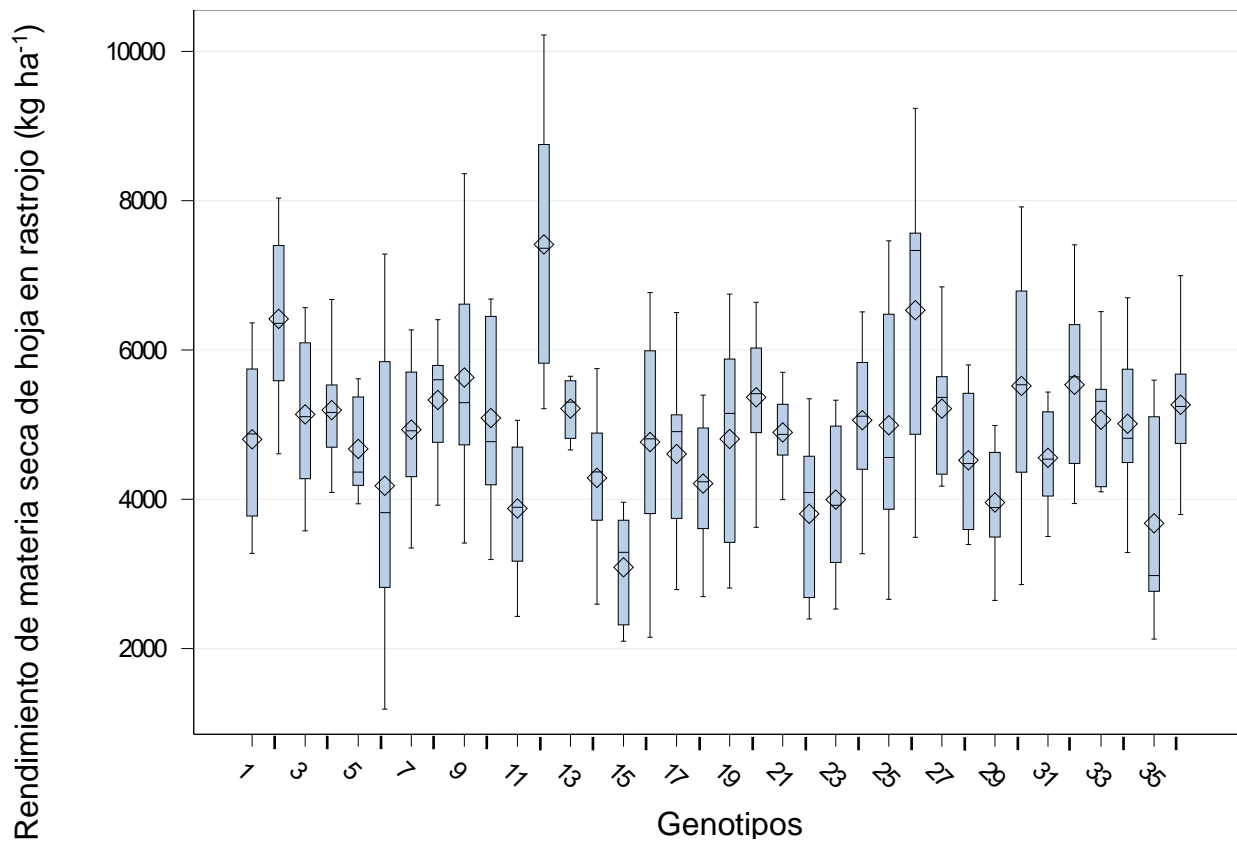
los cuales doce son Híbridos de Cruza Simple, seis son Poblaciones de Polinización Libre, una Variedad Sintética y tres son Híbridos Comerciales. Por último, el grupo que presentó el menor RMS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 20, 32, 16, 33, 6, 11, 29, 17, 13, 34, 14, 35, 22 y 15 (HQ-15, 25 # y SM-16, 123x142 los que tuvieron el menor RMS); este grupo presentó un rango de 11407 a 7286  $\text{kg ha}^{-1}$ , de los cuales siete son Híbridos de Cruza Simple, tres son Poblaciones de Polinización Libre y cuatro son Híbridos Comerciales.



**Figura 10.** Distribución de rendimiento de materia seca de rastrojo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.2.6.1 Rendimiento de materia seca de hoja (RHS) en rastrojo

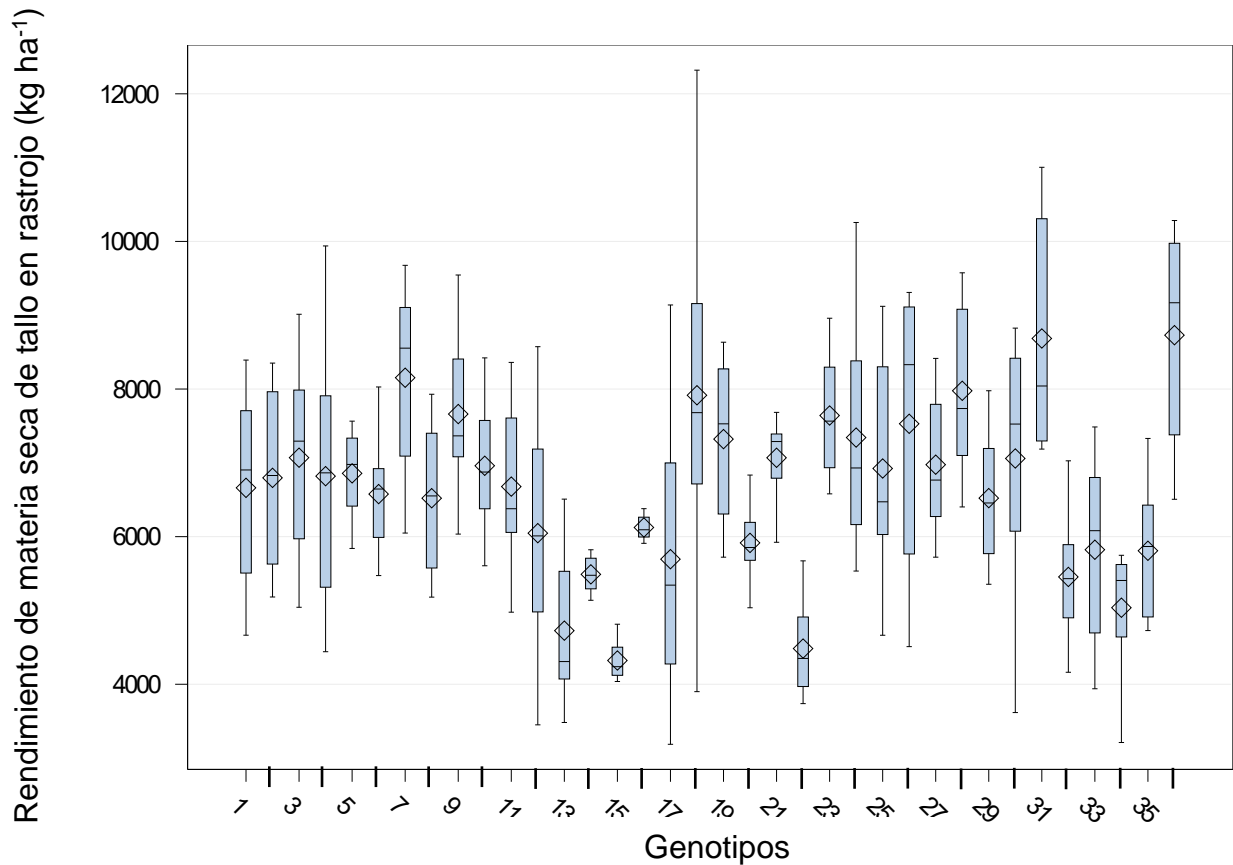
Los genotipos fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en el RHS (Figura 11). El promedio fue de 4906 kg MS de hoja  $ha^{-1}$ . El grupo que presentó el mayor RHS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 12: SM-16 64x66, 26: CPue-00369, 2, 9, 32, 30, 20, 8, 36, 13, 27 y 4; este grupo presentó un rango de 7414 a 5194 kg  $ha^{-1}$ . El grupo que presentó el mediano RHS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 3, 10, 33, 24, 34, 25, 7, 21, 19, 1, 16, 5, 17, 31, 28 y 14; con un rango 5137 a 4286 kg  $ha^{-1}$ . Por último, el grupo que presentó el menor RHS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 18, 6, 23, 29, 11, 22, 35, 15, 15: SM-16 123x142 con 3089 kg  $ha^{-1}$  y 35: SBA-470 Conquistador® con 3678 kg  $ha^{-1}$ ; este grupo presentó un rango de 4211 a 3089 kg  $ha^{-1}$ .



**Figura 11.** Distribución de rendimiento de materia seca de hoja en rastrojo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.2.6.2 Rendimiento materia seca de tallo (RTS) en rastrojo

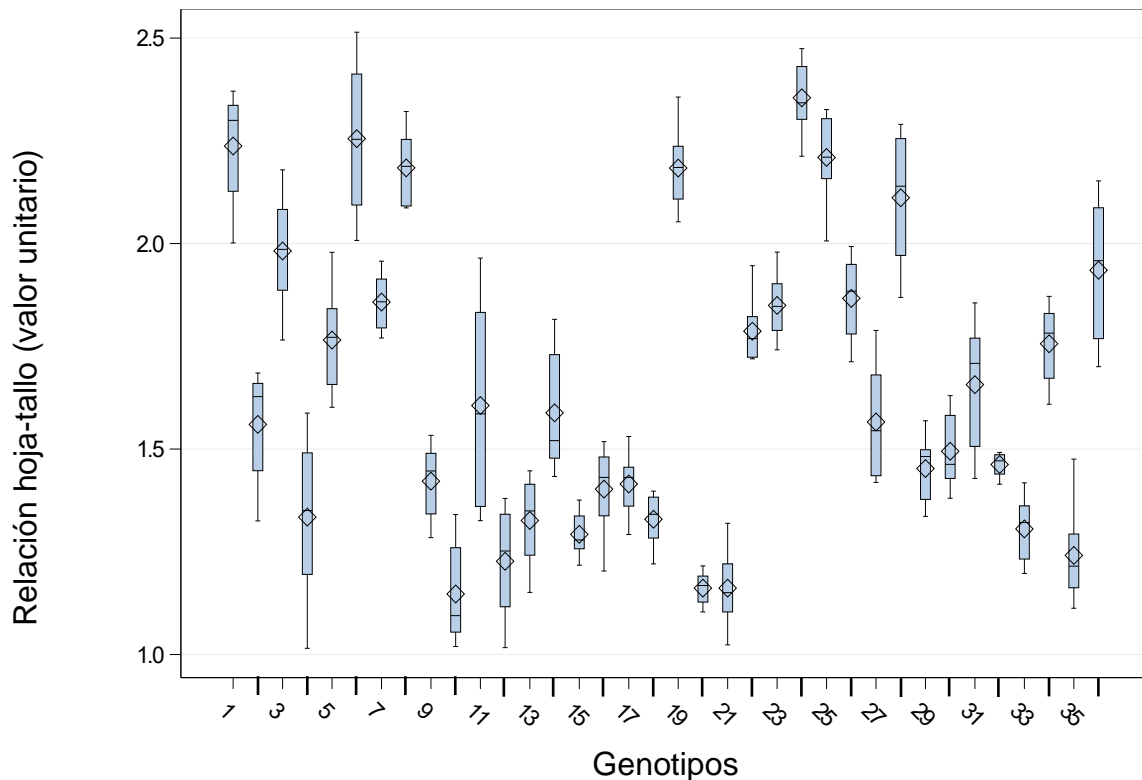
Los genotipos fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en el RTS (Figura 12). El promedio fue de 6649 kg MS de tallo  $ha^{-1}$ ; los resultados se dividieron en dos grupos. El grupo que presentó el mayor RTS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 6: SM-16, 44x64, 31: SM-16 124x142, 7, 28, 18, 9, 23, 26, 24, 19, 3, 21, 30, 27, 10, 25, 5, 4, 2, 11, 1, 6, 29 y 8; este grupo presentó un rango de 8729 a 6521 kg  $ha^{-1}$ . El grupo que presentó el menor RTS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 16, 12, 20, 33, 35, 17, 14, 32, 34, 13, 22: HQ-15 25 # y 15: SM-16 123x142 este grupo presentó un rango de 6124 a 4322 kg  $ha^{-1}$ .



**Figura 12.** Distribución de rendimiento de MS de tallo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

## 7.2.7 Relación hoja-tallo (RHT)

Los genotipos fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en la RHT (Figura 13), con un promedio de 1.6 de RHT. El grupo que presentó el mayor número de RHT ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 24: CPue-00157, 6: SM-16 44x64, 1: SM-16, 5x64, 25: SM-16 5x64, 8: SM-16 58x21 y 19: SM-16 166 #; este grupo presentó un rango de 2.3 a 2.18. El grupo que presentó el mediano número de RHT ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 28, 3, 36, 26, 7, 23, 22, 5, 34, 31, 11, 14, 27, 2, 30, 32, 29, 9, 17 y 16; con un rango 2.11 a 1.4. Por último, el grupo que presentó el menor RHT ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 4, 18, 13, 33, 15, 35, 12, 21, 20: SM-15 218 # y 10: SM-15 61x21; este grupo presentó un rango de 1.3 a 1.1.

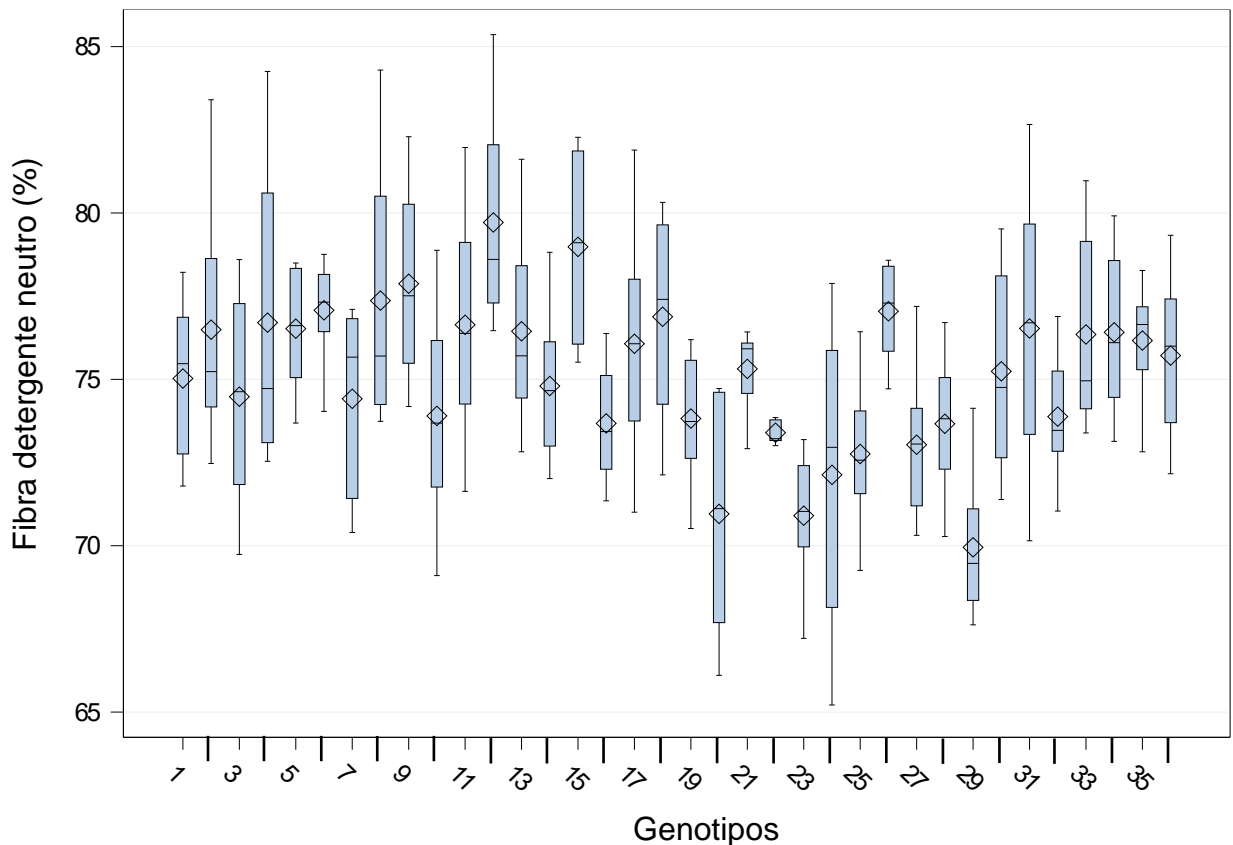


**Figura 13.** Distribución de relación hoja-tallo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.3 Variables de calidad del rastrojo

#### 7.3.1 Fibra detergente neutro (FDN)

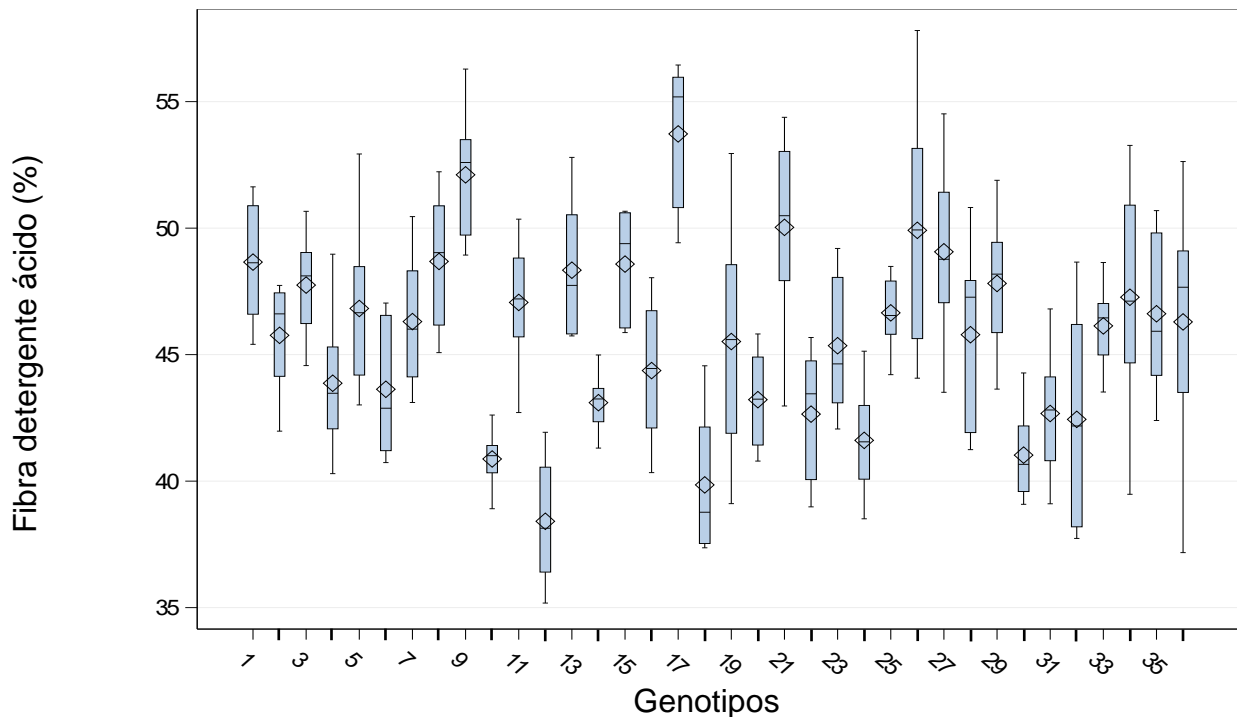
Los genotipos fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en la concentración de FDN (Figura 14). El promedio fue de 75% de FDN; los resultados se dividieron en dos grupos. El grupo que presentó la mayor FDN ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 12: SM-16 64x66, 15: SM-16 123x142, 9, 8, 6, 26, 18, 4, 11, 31, 5, 2, 13, 34, 33, 35, 17, 36, 21, 30, 1; este grupo presentó un rango de 79.7 a 75%. El grupo que presentó la menor FDN ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 14: SM-16 122x142, 3: SM-16 21x64, 7: SM-16 21x64, 10: SM-16 61x21, 32: Águila 215W®, 19: SM-16 166 #, 16: SM-16, 124x142, 28: Tropical-1®, 22: HQ-15, 27: CPue-00406, 25: CPue-00174, 24: CPue-00157, 20: SM-15 218 #, 23: CPue-00089 y 29: CPue-00316; este grupo presentó un rango de 74.8 a 70%.



**Figura 14.** Concentración de Fibra Detergente Neutro en el rastrojo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.3.2 Fibra detergente ácido (FDA)

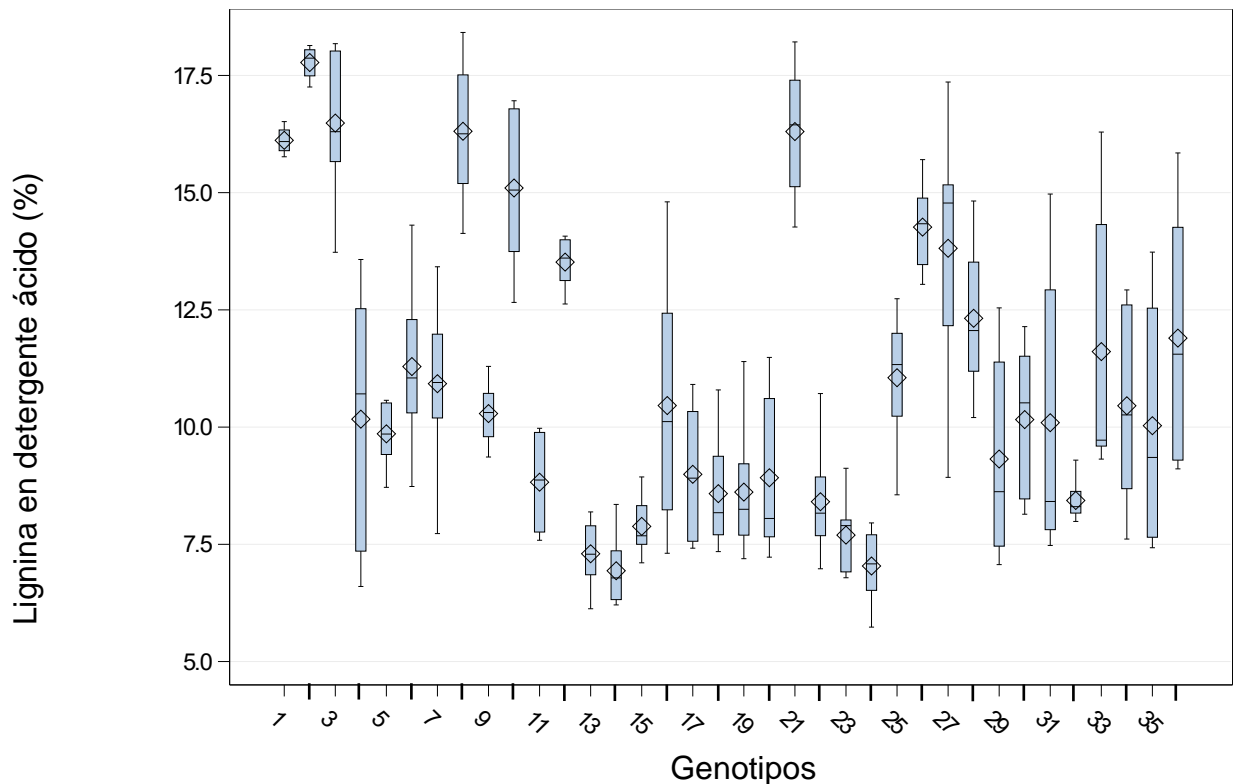
Los genotipos fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en la concentración de FDA (Figura 15). El promedio fue de 45.7% de FDA. El grupo que presentó la mayor FDA ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 17: SM-16 125x142, 9: SM-16 60x66, 21, 26, 27, 8, 1, 15; este grupo presentó un rango de 53.7 a 48.5%. El grupo que presentó la mediana concentración de FDA ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 13, 29, 3, 34, 11, 5, 25, 35, 7, 36, 33, 28, 2, 19, 23, 16, 4; este grupo presentó un rango de 48.3 a 43.8%. Por último, el grupo que presentó la menor FDA ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 6, 20, 14, 31, 22, 32, 24, 30, 10, 18: SM-16 136x142 y 12: SM-16 64x66; este grupo presentó un rango de 43.6 a 38.4%.



**Figura 15.** Concentración de Fibra Detergente Ácido (FDA) en el rastrojo de los 36 materiales evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

### 7.3.3 Lignina en detergente ácido (LDA)

Los genotipos fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en la concentración de LDA (Figura 16). El promedio fue de 11% de LDA; los resultados se dividieron en tres grupos. El grupo que presentó la mayor LDA ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 2: SM-16 13x44, 3: SM-16 21x64, 8: SM-16 58x21, 21: SM-15 137x135, 1: SM-15 137x135, 10: SM-15 137x135; este grupo presentó un rango de 17.7 a 15%. El grupo que presentó la mediana concentración de LDA ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 26, 27, 12, 28, 36, 33, 6, 25, 7, 16, 34, 9, 4, 30, 31, 35; este grupo presentó un rango de 14.2 a 10%. Por último, el grupo que presentó la menor LDA ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 5: SM-16 23x60, 29: CPue-00316, 17: SM-16 125x142, 20: SM-15 218 #, 11: SM-16 63x21, 19: SM-16, 166 #, 18: SM-16 136x142, 32: Águila 215W®, 22: HQ-15, 25 #, 15: SM-16 123x142, 23: CPue-00089, 13: SM-16 121x142, 24: CPue-00157 y 14: SM-16 122x142; este grupo presentó un rango de 9.8 a 6.9%.

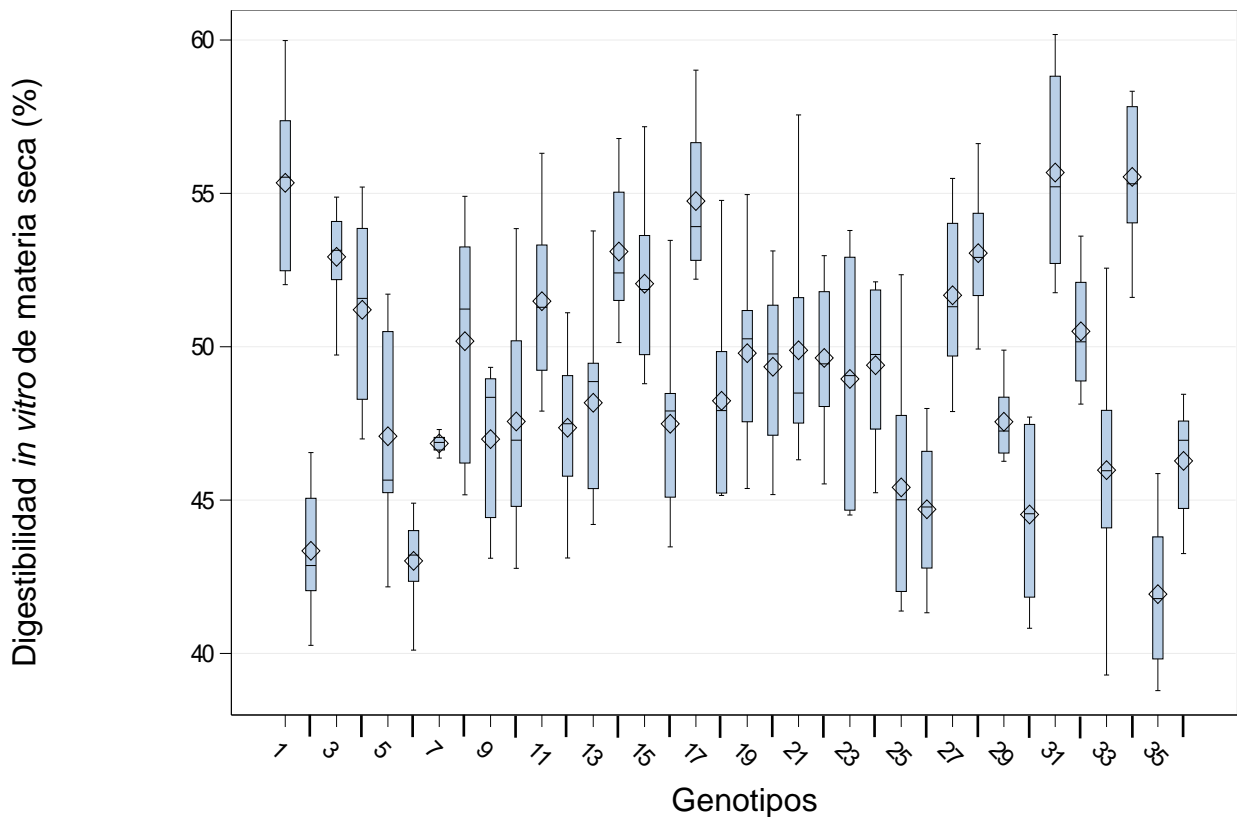


**Figura 16.** Concentración de Lignina en detergente ácido en el rastrojo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.



### 7.3.4 Digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS)

Los genotipos fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en DIVMS (Figura 17). El promedio fue de 49% de DIVMS; los resultados se dividieron en tres grupos. El grupo que presentó mayor DIVMS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 31, 34, 1, 17, 14, 28, 3, 15, 27, 11 y 4 (Imparable®, SBA 404 Bárbaro®, SM-16 5x64, SM-16 125x142, SM-16 122x142, Tropical-1®, SM-16 21x64, SM-16 123x142, CPue-00406, SM-16 63x21 y SM-16 22x64); este grupo presentó un rango de 55.6 a 51.2%. El grupo que presentó la mediana concentración de DIVMS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 32, 8, 21, 19, 22, 24, 20, 23, 18, 13, 10, 29, 16, 12, 5, 9 y 7; este grupo presentó un rango de 50.5 a 46.8%, de los cuales diez son Híbridos de Cruza Simple, seis son Poblaciones de Polinización Libre y uno es Híbrido Comercial.

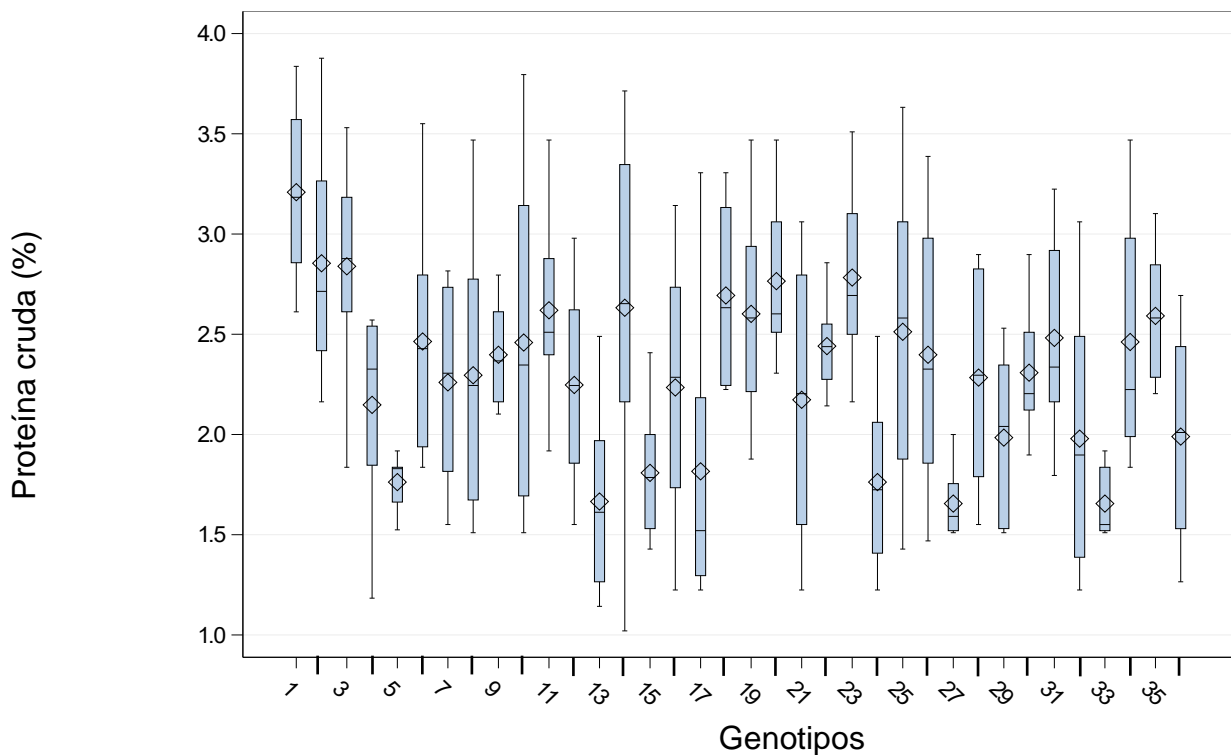


**Figura 17.** Porcentaje de Digestibilidad *in vitro* del rastrojo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

Por último, el grupo que presentó la menor DIVMS ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 36: Niebla<sup>®</sup>, 33: SB 352 Deseado<sup>®</sup>, 25: CPue-00174, 26: CPue-00369, 30: HS-2<sup>®</sup>, 2: SM-16 13x44, 6: SM-16 44x64 y 35: SBA-470 Conquistador<sup>®</sup>; este grupo presentó un rango de 46.2 a 41.9%, de los cuales dos son Híbridos de Cruza Simple, dos son Poblaciones de Polinización Libre y cuatro son Híbridos Comerciales.

### 7.3.5 Proteína cruda (PC)

Los genotipos de maíz fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) en la concentración de PC (Figura 18). El promedio fue de 2.3% de PC; los resultados se dividieron en dos grupos. El grupo que presentó la mayor PC ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 1: SM-16 5x64, 2: SM-16 13x44, 3, 23, 20, 18, 14, 11, 19, 35, 25, 31, 6, 34, 10; este grupo presentó un rango de 3.2 a 2.45%.

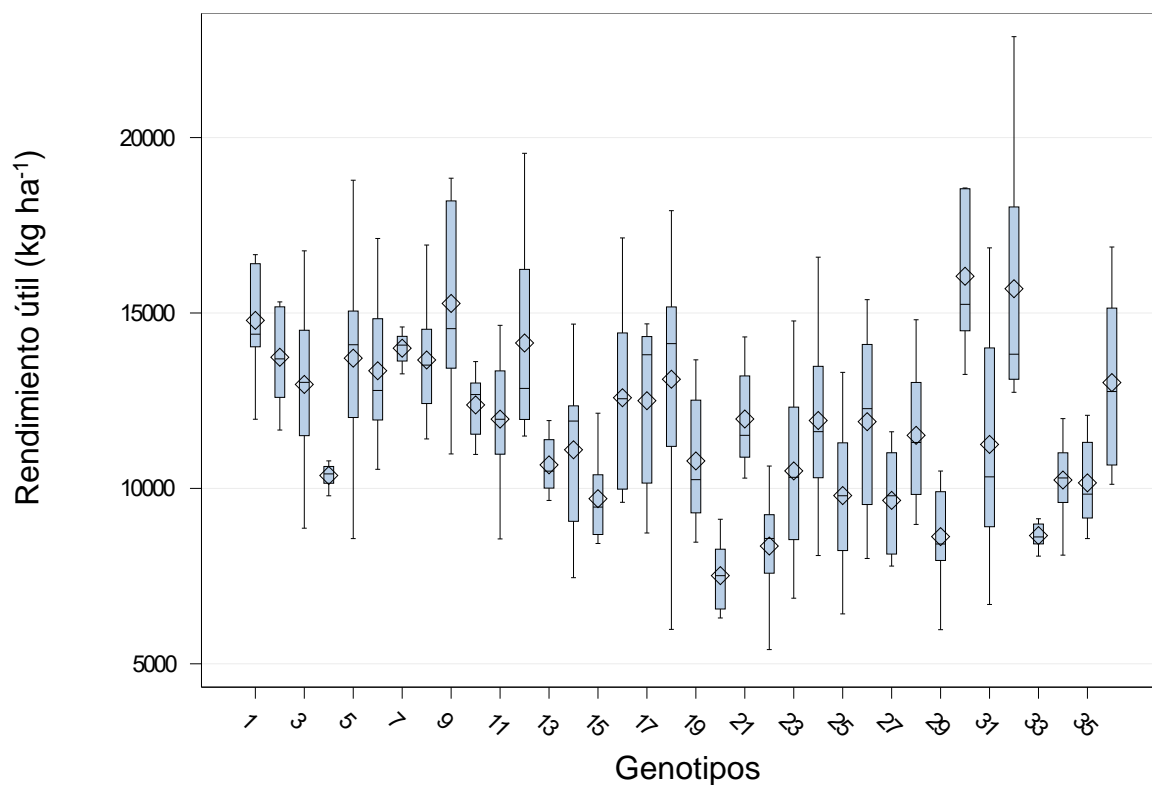


**Figura 18.** Concentración de Proteína cruda (PC) en el rastrojo de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

El grupo que presentó la menor PC ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 22, 9, 26, 30, 8, 28, 7, 12, 16, 21, 4, 36, 29, 32, 17, 15, 5, 24, 13, 27: CPue-00406 (Am) y 33: SB 352 Deseado® (Berentsen); este grupo presentó un rango de 2.44 a 1.6%.

#### 7.4 Rendimiento útil (RUT)

En rendimiento útil (RUT), los genotipos de maíz fueron diferentes ( $P < 0.0001$ ) como se muestra en la Figura 19. El promedio fue de  $11879 \text{ kg ha}^{-1}$  de RUT; los resultados se dividieron en tres grupos. El grupo que presentó el mayor RUT ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 30, 32, 9, 1, 12, 7, 2, 5, 8, 6, 18, 36 y 3 (HS-2®, Águila 215W®, SM-16 60x66, SM-16 5x64, SM-16 64x66, SM-16 53x64, SM-16 13x44, SM-16 23x60, SM-16 58x21, SM-16 44x64, SM-16 136x142, Niebla® y SM-16 21x64); este grupo presentó un rango de 16047 a  $12963 \text{ kg ha}^{-1}$ .



**Figura 19.** Concentración de rendimiento útil (RUT) de los genotipos evaluados. Las barras indican el rango estadístico de valores y el rombo indica el valor medio estadístico para cada material.

El grupo que presentó el mediano RUT ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 16, 17, 10, 21, 11, 24, 26, 28, 31 y 14; con un rango de 12585 a 11101 kg ha<sup>-1</sup>, de los cuales seis son Híbridos de Cruza Simple, dos son Poblaciones de Polinización Libre, una variedad sintética y uno es Híbrido Comercial. Por último, el grupo que presentó el menor RUT ( $P \leq 0.05$ ) fue el de los genotipos 19, 13, 23, 4, 34, 35, 25, 15, 27, 33, 29, 22 y 20; este grupo presentó un rango de 10783 a 7514 kg ha<sup>-1</sup> y de los cuales tres son Híbridos de Cruza Simple, siete son Poblaciones de Polinización Libre y tres son Híbridos Comerciales.

## **7.5 Correlación entre variables**

### **7.5.1 Correlación entre variables de campo**

Las correlaciones significativas más altas de las variables de campo ( $P \leq 0.0001$ ) se observaron entre DFF y DFM ( $r=0.96$ ), RUT con RGR ( $r = 0.88$ ), RMS con RTS ( $r=0.83$ ), RMS con RHS ( $r=0.79$ ), y ALM con ALP ( $r=0.71$ ). Con menor correlación, aunque significativa, se tuvo con RUT con RMS ( $r=0.48$ ), RTS con ALP ( $r=0.45$ ), RMS con ALP ( $r=0.43$ ), RUT con RHS ( $r=0.41$ ) y RUT con RTS ( $r=0.40$ ). Se presentó el mismo caso, correlación significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre RUT con ALP ( $r=0.39$ ), RTS con ALM ( $r=0.37$ ), RHS con RTS ( $r=0.36$ ), al igual que la correlación entre RMS con ALM ( $r=0.36$ ) y RHT y ALM ( $r=0.36$ ). Las siguientes correlaciones significativas ( $P \leq 0.01$ ) fueron diferentes ( $P \leq 0.05$ ) y ordenadas de manera descendente: RHT y ALP ( $r=0.32$ ), RUT con ALM ( $r=0.27$ ), RGR y ALP ( $r=0.26$ ), RHS con ALP ( $r=0.26$ ), RTS con RHT ( $r=0.23$ ); y por último RHS con ALM ( $r=0.23$ ).

### **7.5.2 Correlación entre variables de calidad de rastrojo**

Correlaciones significativas ( $P \leq 0.01$ ) aunque bajas, se tuvieron entre FDA y LDA ( $r=0.22$ ).

### **7.5.3 Correlaciones del análisis conjunto**

La correlación significativa más alta de las variables de campo y de las variables de calidad de rastrojo resultantes del análisis conjunto de los datos ( $P \leq 0.0001$ ) se observó

entre ALM y LDA ( $r=0.35$ ). Otras correlaciones significativas ( $P \leq 0.05$ ) fueron entre ALP y LDA, con  $r=0.29$ ; y entre RGR con FDN con  $r=0.28$ . La correlación fue significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre RUT y FDN ( $r=0.27$ ), entre RHS y LDA ( $r=0.26$ ), entre RMS y LDA ( $r=0.25$ ), y entre DFM y LDA ( $r = 0.24$ ).

## **8. DISCUSIÓN**

### **8.1 Comportamiento productivo de los materiales de maíz**

#### **8.1.1 Rendimiento de grano**

Se encontró variación en el rendimiento de grano, lo que indica que entre genotipos existen diferencias genéticas propias y con su interacción con las condiciones ambientales. En varios trabajos realizados en evaluación de variedades en ambientes similares a donde se realizó la presente investigación, se encontraron variaciones; tales son las investigaciones de Muñoz *et al.* (2013) y Aceves *et al.* (2002). Los genotipos que resultaron sobresalientes en rendimiento de grano fueron los híbridos comerciales HS-2<sup>®</sup> y Águila 215W<sup>®</sup>, así como siete Híbridos de Cruza Simple. Esto está relacionado con el vigor híbrido, aunque da evidencia que no todos los híbridos comerciales funcionan igual, y que tampoco lo hacen todas las cruza simples o las poblaciones de polinización libre. El valor promedio de genotipos en este trabajo son superiores a lo reportado en trabajos antes mencionados, y superiores también a trabajos realizados en ambientes tropicales como lo señalan Anandan *et al.* (2013), Vinayan *et al.* (2013), Reddy *et al.* (2013) y Zaidi *et al.* (2013). Se observó además que el RGR reportado en el presente trabajo estuvo correlacionado con RUT, RMS, ALP y FDN. Una mayor producción de materia seca (que puede implicar mayor altura de planta en cierto grado y mayor acumulación de paredes celulares) puede contribuir en cierta medida a una acumulación mayor de reservas, que junto con una capacidad fotosintética propiciada por la altura pudo conducir a mayores rendimientos de grano.

### **8.1.2 Rendimiento de materia seca**

Se observó variación en el rendimiento de materia seca, lo que indica que entre genotipos existen diferencias genéticas posiblemente modificadas en su expresión por la interacción de dichos genotipos con su ambiente de evaluación. En esta variable hubo dominancia de los híbridos de cruce simple y se observó que los híbridos comerciales aparecieron sólo tres en el grupo superior. Quedó de manifiesto que tales híbridos son seleccionados hacia un porte bajo y se le da mayor atención al rendimiento de grano. En trabajos realizados en evaluación de variedades en ambientes similares a donde se realizó la presente investigación, se han encontrado también variaciones (Muñoz *et al.*, 2013; Aceves *et al.*, 2002). El valor promedio de los genotipos evaluados en este trabajo son superiores a lo reportado en trabajos antes mencionados, y superiores también a trabajos efectuados por otros investigadores en ambientes tropicales (Anandan *et al.*, 2013; Reddy *et al.*, 2013; Vinayan *et al.*, 2013; Zaidi *et al.*, 2013). Adicionalmente, el RMS se correlacionó con RUT, RHS, ALP, ALM, RTS, RGR y LDA. Las variables de altura de planta, de producción de tallo y de mayor ciclo de vida implican mayores producciones de materia.

### **8.1.3 Precocidad**

La variación que se mostró entre los materiales evaluados indica que 8.3% corresponden al estrato tardío los cuales fueron híbridos comerciales, 61.1% al estrato intermedio y 30.5% al estrato precoz. Estos resultados indican en lo general una mayor precocidad de los genotipos evaluados en comparación con materiales genéticos evaluados por otros investigadores en ambientes de valles altos por (Muñoz *et al.*, 2013; Aceves *et al.*, 2002).

### **8.1.4 Altura**

La variación que existió entre los materiales evaluados indica que 47.7% corresponden al estrato de altos, 19% al estrato de medianos y 33.3% al estrato de bajos. Anandan *et al.* (2013) y Vinayan *et al.* (2013) encontraron variaciones más bajas en ALP en ambiente tropical en los que han dominado los materiales nativos. Los materiales más altos en

ALP fueron el SM-16 13x44 y HS-2<sup>®</sup> y los más altos en ALM SM-16 166 # y CPue-00174. Los resultados de este trabajo indican que estos materiales fueron más altos que los reportados para ambientes de valles altos (Muñoz *et al.*, 2013). Se encontró en la presente investigación que los materiales nativos e híbridos fueron diferentes, y que en general, los materiales nativos tuvieron mayor ALP y ALM.

### **8.1.5 Relación hoja-tallo**

Se observó variación en la RHT, lo que indica que entre materiales existen diferencias genéticas relacionadas con tal característica. En varios trabajos realizados en evaluación de variedades en ambientes similares a donde se realizó la presente investigación, se han encontrado variaciones, como la investigación realizada por Muñoz *et al.* (2013). Los genotipos que tuvieron mayor RHT (mayor proporción de hoja por unidad de tallo) en la presente investigación fueron dos variedades locales y cuatro híbridos de cruza simple. Para este carácter, el valor promedio de los genotipos de este trabajo fue superior al reportado en el trabajo antes mencionado.

## **8.2 Calidad nutritiva del rastrojo**

### **8.2.1 Proteína Cruda**

Se expresó variación en la concentración de PC, lo que indica que entre genotipos existen diferencias genéticas. En varios trabajos realizados en evaluación de variedades en ambientes tropicales, se han encontrado variaciones, como en las investigaciones realizadas por Anandan *et al.* (2013), Reddy *et al.* (2013), Vinayan *et al.* (2013) y Zaidi *et al.* (2013). Los genotipos que tuvieron mayor PC en la presente investigación fueron SM-16 5x64, SM-16 13x44 y SM-16 21x64. El valor promedio de genotipos de este trabajo fue superior al reportado en los trabajos antes mencionados. Se observa además que la PC reportada en el presente trabajo no tuvo relación con ninguna otra variable de estudio.

### **8.2.2 Contenido de fibras**

La variación que se mostró entre los genotipos evaluados indica que 58% corresponden al estrato de más fibrosos y 42% al estrato de menos fibrosos. Anandan *et al.* (2013),

Reddy *et al.* (2013), Vinayan *et al.* (2013) y Zaidi *et al.* (2013), han encontrado variaciones menos fibrosas en ambiente tropical en los que han dominado los materiales nativos. Los genotipos menos fibrosos fueron tres variedades locales (CPue-00316, CPue-00089 y CPue-00157) y tres híbridos de cruce simple (SM-16 136x142, SM-16 64x66, y SM-16 122x142), lo cual indica que tuvieron mayor proporción de contenido celular. Los resultados mostrados en este trabajo indican que estos genotipos fueron más altos que los mostrados en ambientes de valles altos por Muñoz *et al.* (2013), ya que muestran resultados más bajos en FDN, FDA y LDA. El valor promedio de los genotipos evaluados en este trabajo fue superior al reportado en los trabajos antes mencionados, y superiores también a trabajos realizados en ambientes tropicales.

### **8.2.3 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca**

Se evidenció variación en la DIVMS, lo que indica que entre genotipos existen diferencias genéticas relacionadas con la acumulación de materiales digestibles. En varios trabajos realizados en evaluación de materiales en ambientes similares a donde se realizó la presente investigación (Muñoz *et al.*, 2013). El valor promedio de los genotipos evaluados en el presente trabajo fue inferior al reportado en el trabajo antes mencionado, aunque Muñoz *et al.* (2013) sólo utilizaron la hoja la cual es más digestible que el tallo, que se incluyó en la presente investigación. También los resultados de esta variable fueron inferiores a los trabajos realizados por Anandan *et al.* (2013), Reddy *et al.* (2013), Vinayan *et al.* (2013) y Zaidi *et al.* (2013), en ambientes tropicales. Esta diversidad en digestibilidad muestra que es una variable de la cual se puede hacer uso en el mejoramiento genético para contribuir con mejores resultados en la producción pecuaria.

### **8.3 Aptitud para doble propósito**

Existió variación en el rendimiento útil, lo que indica que entre genotipos existen diferencias genéticas. El grupo de genotipos que resultaron superiores en la presente investigación fueron dominados por diez híbridos experimentales de cruce simple (SM-16 60x66, SM-16 5x64, SM-16 64x66, SM-16 53x64, SM-16 13x44, SM-16 23x60, SM-16 58x21, SM-16 44x64, SM-16 136x142, y SM-16 21x64) y tres híbridos comerciales (HS-2<sup>®</sup>, Águila 215W<sup>®</sup> y Niebla<sup>®</sup>). Algunos genotipos tuvieron baja digestibilidad (p. ej.



HS-2<sup>®</sup>, SM-16 44x64, SM-16 13x44), pero por su producción de grano y de materia seca de rastrojo, resultaron con un RUT alto; en ellos se tendría que encontrar variación en digestibilidad para lograr aumentar su calidad como genotipos de doble propósito. En el caso del híbrido comercial Águila 215W<sup>®</sup> que tuvo alto rendimiento de grano, pero mediana producción de materia seca y mediana digestibilidad. Por otro lado, el híbrido de cruce simple SM-16 5x64 tiene rendimiento de grano superior, así como mayor digestibilidad, pero requiere aumentar su producción de materia seca. Ninguno de los genotipos evaluados reunió superioridad en las tres características, pero permiten dar mayores rendimientos útiles por unidad de superficie.

## **9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **9.1 Conclusiones**

Los genotipos evaluados fueron diferentes en la producción de materia seca de rastrojo, su valor nutritivo y producción de grano.

En rendimiento de grano, el grupo sobresaliente estuvo compuesto de nueve genotipos, de los cuales sólo dos híbridos comerciales quedaron incluidos, los demás genotipos fueron cruces híbridos de cruce simple. En rendimiento de materia seca de rastrojo, el grupo sobresaliente estuvo integrado por 22 genotipos, de los cuales, doce son Híbridos de Cruza Simple, seis son Poblaciones de Polinización Libre, una Variedad Sintética y tres son Híbridos Comerciales. En cuanto a digestibilidad *in vitro*, el grupo superior estuvo integrado por 11 genotipos, de los cuales siete fueron Híbridos de Cruza Simple, una Población de Polinización Libre, una Variedad Sintética y dos Híbridos Comerciales. Con base en ello se tiene que, dependiendo de las características genéticas manifestadas en las variables principales de interés antropocéntrico, un genotipo puede ser sobresaliente en algunos de estos aspectos sin importar cuál es el origen. Por tanto, la hipótesis general no se rechaza.

No necesariamente los genotipos híbridos comerciales y variedades sintéticas rinden más grano y rastrojo que los genotipos híbridos de cruce simple y de polinización libre. Tampoco los genotipos híbridos de cruce simple y de polinización libre son superiores a

los híbridos comerciales y variedades sintéticas en términos de calidad nutricional. Por tanto, las hipótesis específicas se rechazan.

En cuanto a la detección de genotipos para doble propósito, solamente un híbrido de cruza simple logró aparecer en los grupos sobresalientes en rendimiento de grano y digestibilidad (el SM-16 5x64). Cinco genotipos (SM-16 60x66, SM-16 64x66, SM-16 53x64, SM-16 23x60, SM-16 58x21) tuvieron alto rendimiento de grano y alta producción de materia seca, pero tuvieron mediana digestibilidad. El HS-2<sup>®</sup>, SM-16 44x64, SM-16 13x44, SM-16 136x142, Niebla<sup>®</sup> y SM-16 21x64 tuvieron altos rendimientos de grano y materia seca de rastrojo, pero su digestibilidad fue baja. El híbrido Águila 215W<sup>®</sup> tuvo alto rendimiento de grano, pero mediana producción de materia seca y mediana digestibilidad. La variable “rendimiento útil” aunque detecta materiales sobresalientes para doble propósito, llega a enmascarar a los más productivos en grano y materia seca de rastrojo que tienen baja digestibilidad. El genotipo que resultó mejor evaluado en esta variable fue el SM-16 5x64, debido a que, aunque tuvo un rendimiento medio de materia seca, esta fue más digestible que los que integraron el grupo de sobresalientes, junto con una alto rendimiento de grano.

## **9.2 Recomendaciones**

Para los productores de la región hay necesidad de contar con genotipos de maíz que satisfagan las demandas de grano para consumo humano y forraje de calidad para el ganado. Por tanto, la búsqueda y generación de genotipos de maíz de doble propósito reviste preponderancia. No obstante, de acuerdo con los resultados de la presente investigación, no es fácil el encontrar genotipos que reúnan las tres características de alto rendimiento de grano, alta producción de materia seca y alta digestibilidad. Con lo encontrado, se pueden sentar las bases para iniciar un mejoramiento genético más integral en lo que es la generación de variedades o híbridos de mayor utilidad para las condiciones socioeconómicas, ambientales y productivas de los campesinos de la región. Al respecto, existe una amplia gama de detalles a tomar en cuenta para continuar la investigación en el rumbo declarado, puesto que existen otras condiciones ambientales diferentes a donde se llevó a cabo el estudio, en donde se requiere saber la respuesta ante diferente densidad de siembra, en sequias prolongadas o presencia de bajas

temperaturas y heladas. Una serie de experimentos se pueden llevar a cabo para tener mayor certeza en las posibles variaciones que se pudieran encontrar y conocer que tan estable puede ser la característica de doble propósito de genotipos sobresalientes.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. 1995. International (formerly the Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis. Arlington. AOAC International Washington, D. C., USA.
- Aceves, R. E. 1998. Respuesta de maíz de doble propósito a factores controlables. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Aceves, R. E., Turrent, F. A., Cortés, F. J. I., Volke, H. V. 2002. Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales nativos de maíz en el Valle de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25(4):339-347.
- Anandan, S., Khan, A. A., Ravi, D., Bucha, R. M. S., Reddy, Y. R., Blümmel, M. 2013. Identification of a superior dual purpose maize hybrid among widely grown hybrids in South Asia and value addition to its stover through feed supplementation and feed processing. *Field Crops Research*. 153: 52-57.
- Ankom Technology. 2011. Operator's manual. Ankom Technology, Macedon, New York.
- Ávila, S. H. 2001. Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos: Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América. *Investigaciones Geográficas (Mx)*. (45): 105-130.
- Barroel, G. V. J., Rodriguez, H. S. A., Alvarez, R. V. P., Jimenez, D. F., Preciado, R. P., Ogaz, A. 2014. Híbridos de maíz grano y rastrojo en alta densidad y aplicación de ácido húmico y algaenzimas. Tesis de maestría en ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. 1-53 p.
- Beluzán, F. F. J., Acuña, L. Rodrigo. 2013. Déficit de presión de vapor (DPV) y factores microclimáticos como herramientas de pronóstico de *Botrytis cinerea pers.* Ex fr., en *Lactuca sativa l.* bajo invernadero. Tesis de Maestría. Universidad Austral de Chile. 22-72 p.
- Bertoia, L. M., Burak, R., Torrecillas, M. 2002. Identifying inbred lines capable of improving ear and stover yield and quality of superior silage maize hybrids. *Crop Science*. 42: 365–372.

- Blümmel, M., Grings, E., Erenstein, O. 2013. Potential for dual-purpose maize varieties to meet changing maize demands: Synthesis. *Field Crops Research*. 153: 107-112.
- Clarke, T., Flinn, P. C., McGowan, A. A. 1982. Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass and Forage Science*. 37: 147-150.
- Coors, J. G., Albrecht, K. A., Bures, E. J. 1997. Ear-Fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Science*. 37: 243-247.
- Damián, H. M. A., Cruz, L. A., Ramírez, V. B., Juárez, R. D., Andrade, R. M., Espinosa, Z. S. 2011a. Innovaciones para mejorar la producción de maíz de temporal en el distrito de desarrollo rural de Libres, Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Dirección de Fomento Editorial BUAP: Manual técnico. 51-64 p.
- Damián, H. M. A., Cruz, L. A., Sangerman, J. D. M. J., Aragón, G. A., Romero, A. O., López, H. J. F. 2011b. Propuesta Tecnológica para mejorar la producción de maíz, en el distrito de desarrollo rural de Cholula, Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Dirección de Fomento Editorial BUAP: Manual técnico. 60-77 p.
- Delgado, D.O., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S., Courbois, D.O. 1999. Livestock to 2020: The next food revolution. Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, D.C. (28).
- Donnet, M. L., López, D., Arista, J., Carrion, F., Hernandez, V., Gonzalez, A. 2012. El potencial de mercado de semillas mejoradas de maíz en México. CIMMYT. 6:21.
- FAO - CIMMYT. 1997. El maíz blanco: un grano alimentario tradicional en los países en desarrollo. [En línea] [Consulta: 29 noviembre 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-w2698s.pdf>
- FAO. 2003. Livestock sector report: México. Condiciones estructurales, evolución (1990-2000) y perspectivas (2010, 2020, 2030). [En línea] [Consulta: 14 octubre 2017]. Disponible en:

[http://www.fao.org/ag/againfo/resources/en/publications/sector\\_reports/lsr\\_MEX.pdf](http://www.fao.org/ag/againfo/resources/en/publications/sector_reports/lsr_MEX.pdf).

Fernández, R., S. 1981. Efecto del procesamiento físico del nivel de alimentación y la suplementación nitrogenada sobre la utilización del pastoreo del rastrojo de maíz para borregos. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

FIRA 2016. Panorama agroalimentario de Maíz. [En línea] [Consulta: 4 octubre 2017]. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf)

Florescano, E. 2003. Imágenes y significados del dios del maíz; Sin maíz no hay país, Esteva G, Marielle C (coord), Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, CONACULTA. México, DF.

Fuentes, J., Magaña, C., Suárez, L., Peña, R., Rodríguez, S., Ortiz, R. B. 2001. Análisis químico y digestibilidad “in vitro” de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 12(2):189-192

Galaviz, R. J.R., Vargas, L. S., Zaragoza, R. J.L., Bustamante, G. A, Ramírez, B. E, Guerrero, R. J. D., Hernández, Z. J.S, 2011. Evaluación territorial de los sistemas de producción ovina en la región nor-poniente de Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2: 53-68.

García, E. E. J. 2008. El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua. Tesis de maestría, Colegio de la Frontera Norte y Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 155 p.

Gaytán, B. R., Martínez, G. M. I., Mayek, P. N. 2009. Rendimiento de grano y rastrojo en híbridos de maíz y su generación avanzada F2. *Agricultura técnica en México*. 35(3):1-3.

- Gil, M. A., Antonio, L. P., Guerrero, R. J. de D., Taboada, G. O. R., Ortiz, T. E., López, S. H., Hernández, G. J. A. 2015. Diversidad de los Maíces Nativos en el Estado de Puebla. Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Nota técnica. 10-37 p.
- González, M. S. 2001. Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentación del ganado. COLPOS – SAGARPA. Ficha técnica. 1-8 p.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Chiautzingo, Huejotzingo, Cuautlancingo, Puebla. México. 1-9 p.
- INEGI. 2015. Estadísticas del día mundial de la alimentación. México. 1-2 p.
- INIFAP (Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias). 2018. Clima INIFAP, Agroclima. Disponible en [http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Transparencia/Contenido/Trans\\_Focalizada/Red\\_Estaciones/Red\\_Estaciones.aspx](http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Transparencia/Contenido/Trans_Focalizada/Red_Estaciones/Red_Estaciones.aspx).
- Jiménez, P. J., Alanís, R. E., Aguirre, C. O., Pando, M. M., González, T. M. 2005. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructura. *Madera y Bosques*. 15(3)1-3.
- Jiménez, T. S., Ortiz T. E., Olvera, H. J. I., Guerrero, R. J. de D. 2010. Caracterización agronómica y denominación de poblaciones locales de maíz (*Zea mays* L.) de la comunidad de Cualác, Guerrero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados Campus Puebla. México. 90-98 p.
- Jones, D. I. H., Hayward, V. M. 1975. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 26: 711-718.
- Klopfenstein, T. 1978. Chemical treatment of crop residues. *Journal Animal Science*. 46: 840-841.
- Lal, R. 2005. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International*. 31: 575–584.

- Lorenz, A.J., Gustafson, T.J., Coors, J.G., Leon, N.D. 2010. Breeding Maize for a Bioeconomy: A literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. *Crop Science*. 50: 1-12.
- Martínez, L. R., Castelán, O. O. A., González, R. M., Estrada, F. J. G. 2011. Determinación de la calidad nutritiva, fermentación in vitro y metabolitos secundarios en arvenses y rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(2): 525-534.
- Mendoza, R. R., Serrano, C. J., Cortés, F. J. I. 1986. La producción del grano y rastrojo de maíz y su utilización para la alimentación humana y animal en las pequeñas unidades familiares de Puebla. Centro de Enseñanza, Investigación y Capacitación para el Desarrollo Agrícola Regional – CEICADAR. MAP Huejotzingo, Puebla. México. 1-25 p.
- Moreno, S. L. I. 2014. Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. Tesis de Maestría en Economía Aplicada. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México. 1-91 p.
- Muñoz, T. F., Guerrero, R. J. D., López, P. A., Gil, M. A., López, S. H., Ortiz, T. E., Hernández, G. J. A., Taboada, G. O., Vargas, L. S., Valadez, R. M. 2013. Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 4(4)515-530.
- Muro, R. L., Camacho, V. T. C., Guevara, H. F. 2013. Rastrojos: Manejo, Uso y Mercado en el centro y sur de México. SAGARPA, INIFAP, CIMMYT, Universidad Autónoma de Chiapas. 6:242.
- NIANP, 2003. FeedBase. CD-Rom. National Institute for Animal Nutrition and Physiology, Bangalore, India.
- Ørskov, E. R. 1991. Possibility of manipulating resource quality by genetic selection. In 'Production and utilization of lignocellulosics. Plant refinery and breeding, analysis,



- feeding to herbivores and economic aspects. C Galletti. *Elsevier Applied Science*. New York, USA. 219-227 p.
- Palacio, M. V. H., 2002. Las tierras agrícolas de alta productividad frente al mercado de tierras urbano. *Revista Laberinto (Filosofía, política y economía)*. (10):1-12. Disponible en: <http://laberinto.uma.es/lab10/productividad.htm>
- Palacio, M. V. H., Montesillo, C. J. L., Santacruz, L. E. E. (sin año). Análisis del mercado de tierras en México. Universidad Autónoma de Chapingo-CIESTAAM. México. 1-39 p.
- Peña, R. A., González, C. F., Núñez, H. G., Preciado, O. R., Terrón, I. A., Luna, F. M. 2008. H-376, híbrido de maíz para producción de rastrojo y grano en el bajío y la región norte centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(1):85-87.
- Ravi, D., Khan, A. A., Saibutcharao, M., Blümmel, M. 2013. A note on suitable laboratory stover quality traits for multidimensional maize improvement. *Field Crops Research*. 153: 58-62.
- Reddy, R. Y., Ravi D., Ramakrishna, R. C., Prasad, K.V.S.V., Zaidi, P. H., Vinayan, M. T., Blümmel, M. 2013. A note on the correlations between maize grain and maize stover quantitative and qualitative traits and the implications for whole maize plant optimization. *Field Crops Research*. 153: 63-69.
- SAGARPA, SENASICA, INIFAP 2015. Agenda Técnica Agrícola Puebla. 43-86 p.
- Sánchez, G., J.J., Goodman, M. M., Stuber, C.W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*. 54: 43-59.
- SAS. SAS User's Guide: Statistics (version 9.4 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2008.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Anuario estadístico de la producción agrícola/cierre de la producción agrícola 2015. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp).
- SIAP-SAGARPA. 2013. *Población Ganadera, Avícola y Apícola, 2002-2011*. Disponible en:

[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=21&Itemid=330](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=330).

- SMN – CNA (Servicio meteorológico nacional – Comisión nacional del Agua). 2018. Información Climatológica por Estado. Disponible en <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=pue>.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H. 1981. Principios y procedimientos de estadística. Segunda edición. McGraw-Hill Inc. Colombia. 236 p.
- Tadeo, R. M., Espinosa, C. A., Zaragoza, E. J., Turrent, F. A., Sierra, M. M., Gómez, M. N. 2012. Forraje y grano de híbridos de maíz amarillo para valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 23(2): 281-288.
- Thornton, P. K., Kristjanson, P. M., Thorne, P. J. 2003. Measuring the potential impacts of improved food-feed crops: methods for ex ante assessment. *Field Crops Research*. 84: 199-212.
- Tochihuitl, T. A., Villarreal, M. L. A., Ramírez, V. B., Gutiérrez, D. E. A., Tlapa, A. M. 2016. Análisis de los cambios y la persistencia en los usos del suelo de 1958 a 2010 en el municipio de Cuautlancingo, Puebla, México. *Ambiente y Desarrollo*. 20(39):35.
- Vargas, J. M., Mendoza, G. D., Rubio-Lozano, M. S., Castrejón, F. A. (2013). Effect of exogenous fibrolytic enzymes on the carcass characteristics and performance of grain-finished steers. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13: 435-440.
- Villegas, G., Bolaños, A. y Olgún, P. L. 2001. La ganadería en México. Plaza y Valdez, Ed. Primera edición. México. 163 p.
- Vinayan, M. T., Babu, R., Jyothsna, T., Zaidi, P. H., Blümmel, M. 2013. A note on potential candidate genomic regions with implications for maize stover fodder quality. *Field Crops Research*. 153: 102-106.
- Zaidi, P.H., Vinayan, M.T., Blümmel, M. 2013. Genetic variability of tropical maize stover quality and the potential for genetic improvement of food-feed value in India. *Field Crops Research*. 153: 79-85.

## ANEXOS

En este apartado se describen los resultados de los parámetros productivos de cada uno de los materiales de maíz que fueron evaluadas, además se anexa un cuadro en el cual se tienen resumidos los resultados de cada una de las variables de campo y de calidad de rastrojo.

**Anexo 1.** Resumen de los resultados obtenidos mediante el modelo estadístico empleado para el análisis de los materiales de maíz para las variables de campo.

<b>Variable</b>	<b>Modelo Pr<math>\geq</math>K</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>CV</b>	<b>Promedio</b>
<b>Días a floración masculina (DFM)</b>		0.960822	1.956296	82.94097
LOC	<.0001			
GROUP(LOC)	0.0831			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.9798			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.0131			
<b>Días a floración femenina (DFF)</b>		0.961334	2.012691	85.32639
LOC	<.0001			
GROUP(LOC)	0.0088			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.7394			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.0020			
<b>Altura de la planta (ALP)</b>		0.799997	7.701436	2.429167
LOC	<.0001			
GROUP(LOC)	0.0391			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.7366			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.9973			
<b>Altura de la mazorca (ALM)</b>		0.891917	9.637273	1.230500
LOC	<.0001			
GROUP(LOC)	0.0048			

BLOCK(LOC*GROUP)	0.6204			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.1415			
<b>Relación hoja-tallo (RHT)</b>		0.958960	6.713305	1.652384
LOC	0.2661			
GROUP(LOC)	0.8046			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.0297			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.0220			
<b>Rendimiento de Grano (RGR)</b>		0.858107	22.71753	6276.807
LOC	<.0001			
GROUP(LOC)	0.0031			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.5983			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.0004			
<b>Rendimiento de materia seca (RMS)</b>		0.667199	18.28229	11566.04
LOC	0.0002			
GROUP(LOC)	0.9248			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.6109			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.4133			

---

R<sup>2</sup>= R cuadrada, CV= Coeficiente de variación, x= media

**Anexo 2.** Resumen de los resultados obtenidos mediante el modelo estadístico empleado para el análisis de los materiales de maíz para las variables a nivel laboratorio de calidad de rastrojo.

<b>Variable</b>	<b>Modelo Pr≥K</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>CV</b>	<b>x</b>
<b>Fibra detergente neutro (FDN)</b>		0.763515	3.242400	75.17598
LOC	<.0001			
GROUP(LOC)	0.8154			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.1180			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.0261			
<b>Fibra detergente ácido (FDA)</b>		0.822796	5.823154	45.77710
LOC	0.0014			
GROUP(LOC)	0.9375			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.7070			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.0072			
<b>Lignina (LDA)</b>		0.898247	14.14026	11.03439
LOC	0.0017			
GROUP(LOC)	0.6808			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.1153			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.1723			
<b>Digestibilidad <i>in vitro</i> (DIVMS)</b>		0.859355	4.933738	49.08311
LOC	0.7238			
GROUP(LOC)	0.0085			
BLOCK(LOC*GROUP)	0.0130			
TREATMNT	<.0001			
LOC*TREATMNT	0.0003			
<b>Proteína cruda (PC)</b>		0.798934	17.89516	2.311982
LOC	<.0001			
GROUP(LOC)	0.3738			

BLOCK(LOC*GROUP)	0.0004
TREATMNT	<.0001
LOC*TREATMNT	0.0042

---

R2= R cuadrada, CV= Coeficiente de variación, x= media

A continuación, en el anexo 3 y 4 se presentan los resultados de los materiales evaluadas ordenados de forma descendente para visualizar los materiales que tuvieron mayores RUT y DIVMS.

**Anexo 3.** Resultados finales de variables de calidad de rastrojo, ordenados descendientemente como materiales de maíz de doble propósito con rendimiento útil.

<b>MATERIAL</b>	<b>DFM</b> <b>(días)</b>	<b>DFF</b> <b>(días)</b>	<b>ALP</b> <b>(m)</b>	<b>ALM</b> <b>(m)</b>	<b>RGR</b> <b>(kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>RMS</b> <b>(kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>RHT</b>	<b>RUT</b> <b>(kg ha<sup>-1</sup>)</b>
30 HS-2®	82.1	83.9	2.76	1.39	10464	12578	1.31	16047
32 Águila 215W®	84.8	87.4	2.16	0.96	10132	10988	1.24	15692
9 SM-16, 60x66	85	87.8	2.53	1.43	9023	13292	1.94	15272
1 SM-16, 5x64	83.1	85	2.6	1.44	8425	11465	2.35	14789
12 SM-16, 64x66	85.6	88.1	2.66	1.46	7757	13461	1.85	14145
7 SM-16, 53x64	85.9	88.4	2.63	1.42	7613	13086	2.11	13996
2 SM-16, 13x44	82.9	85.4	2.79	1.47	8016	13213	2.26	13738
5 SM-16, 23x60	82.4	83.6	2.49	1.25	8067	11532	2.18	13712
8 SM-16, 58x21	86.5	89.5	2.57	1.28	7743	11851	1.98	13661
6 SM-16, 44x64	84.6	86.4	2.61	1.44	8714	10757	2.18	13353
18 SM-16, 136x142	77.3	79	2.32	1.19	7318	12126	1.59	13112
36 Niebla®	84	86.5	2.53	1.16	6538	13996	1.15	13016
3 SM-16, 21x64	88.5	90.4	2.56	1.37	6510	12207	2.24	12963
16 SM-16, 124x142	76.6	78.4	2.17	1.02	7413	10891	1.66	12585
17 SM-16, 125x142	75.8	77.4	2.39	0.99	6878	10302	1.61	12500
10 SM-16, 61x21	88	89.6	2.37	1.18	6634	12049	1.87	12379
21 SM-15, 137x135	83.1	84.4	2.44	1.33	5830	12089	1.49	11978
11 SM-16, 63x21	86.8	90.3	2.44	1.22	6546	10555	1.86	11975
24 CPue-00157	83.1	86.4	2.61	1.39	5808	12402	1.42	11935
26 CPue-00369	83.5	88.1	2.6	1.38	5634	14063	1.4	11902
28 Tropical-1®	85.1	88.3	2.51	1.44	4905	12499	1.33	11512
31 Imparable®	94.1	95.9	2.59	0.98	3868	13240	1.29	11253
14 SM-16, 122x142	76.6	78.5	2.11	0.81	5906	9776	1.77	11101
19 SM-16, 166 #	83	88	2.66	1.58	4778	12129	1.57	10783
13 SM-16, 121x142	76.9	78.6	2.2	0.97	6633	10191	1.79	10671
23 CPue-00089	80.3	82.3	2.42	1.32	4787	11637	1.45	10498
4 SM-16, 22x64	85.9	89.5	2.42	1.28	5212	12014	2.21	10368
34 SBA 404 Bárbaro®	92.6	95.1	1.92	0.93	4660	10049	1.16	10239
35 SBA-470 Conquistador®	78.4	80.3	2.23	0.96	6162	9487	1.16	10158
25 CPue-00174	81.4	84	2.71	1.54	4325	11915	1.41	9795.7
15 SM-16, 123x142	77.4	78.9	2.18	1.01	5919	7286	1.76	9707.2
27 CPue-00406	78.4	81.6	2.6	1.43	3372	12188	1.33	9658.3
33 SB 352 Deseado®	91.5	93.5	2.17	0.93	4594	10888	1.23	8655.2
29 CPue-00316	78.9	81.5	2.35	1.31	3635	10479	1.33	8625.4
22 HQ-15, 25 #	77.3	79	2	0.83	4244	8289	1.46	8356.8

20 SM-15, 218 #                      78.8   81.1   2.17   1.22   1901   11407   1.56   7513.7

---

RGR= Rendimiento de grano, RMS= Rendimiento de materia seca, DFM= Días a floración masculina, DFF= Días a floración femenina, ALP= Altura de planta, ALM= Altura a la mazorca, RHT= Relación hoja-tallo, RUT= Rendimiento útil.



**Anexo 4.** Resultados finales de variables de calidad de rastrojo, ordenados descendientemente como materiales de maíz de doble propósito con DIVMS.

<b>MATERIAL</b>	<b>FDN (%)</b>	<b>FDA (%)</b>	<b>LDA (%)</b>	<b>PC (%)</b>	<b>DIVMS (%)</b>	<b>RUT (kg ha- 1)</b>
31 Imparable®	76.5295	42.6736	10.094	3.2088	55.6798	11253
34 SBA 404 Bárbaro®	76.4138	47.2686	10.4552	3.2088	55.537	10239
1 SM-16, 5x64	75.025	48.6582	16.1155	3.2088	55.3442	14789
17 SM-16, 125x142	76.0695	53.7243	8.993	3.2088	54.7491	12500
14 SM-16, 122x142	74.8003	43.1018	6.9364	3.2088	53.1044	11101
28 Tropical-1®	73.6651	45.7871	12.3204	3.2088	53.0514	11512
3 SM-16, 21x64	74.4783	47.7487	16.484	3.2088	52.9298	12963
15 SM-16, 123x142	78.9814	48.5793	7.882	3.2088	52.0546	9707.16
27 CPue-00406	73.034	49.0641	13.813	3.2088	51.6778	9658.31
11 SM-16, 63x21	76.6389	47.0635	8.825	3.2088	51.485	11975
4 SM-16, 22x64	76.7041	43.8695	10.169	3.2088	51.2046	10368
32 Águila 215W®	73.8799	42.4414	8.4351	3.2088	50.5027	15692
8 SM-16, 58x21	77.3668	48.6836	16.3088	3.2088	50.1818	13661
21 SM-15, 137x135	75.3143	50.0308	16.303	3.2088	49.8842	11978
19 SM-16, 166 #	73.8218	45.5177	8.6137	3.2088	49.7906	10783
22 HQ-15, 25 #	73.3969	42.649	8.4081	3.2088	49.6342	8356.77
24 CPue-00157	72.1299	41.6114	7.0376	3.2088	49.3981	11935
20 SM-15, 218 #	70.9569	43.2191	8.9193	3.2088	49.3463	7513.65
23 CPue-00089	70.9017	45.3532	7.6962	3.2088	48.9495	10498
18 SM-16, 136x142	76.881	39.8512	8.5811	3.2088	48.2374	13112
13 SM-16, 121x142	76.4445	48.3379	7.2984	3.2088	48.1724	10671
10 SM-16, 61x21	73.9011	40.8762	15.0994	3.2088	47.5633	12379
29 CPue-00316	69.9522	47.8138	9.3189	3.2088	47.5542	8625.36
16 SM-16, 124x142	73.677	44.3694	10.4595	3.2088	47.487	12585
12 SM-16, 64x66	79.7159	38.4129	13.5187	3.2088	47.3592	14145
5 SM-16, 23x60	76.5231	46.8245	9.8563	3.2088	47.0823	13712
9 SM-16, 60x66	77.874	52.1072	10.2884	3.2088	46.9878	15272
7 SM-16, 53x64	74.4155	46.3053	10.9252	3.2088	46.8477	13996
36 Niebla®	75.7144	46.2931	11.8974	3.2088	46.2772	13016
33 SB 352 Deseado®	76.3493	46.1363	11.6101	3.2088	45.9769	8655.16
25 CPue-00174	72.757	46.6518	11.0533	3.2088	45.4141	9795.7
26 CPue-00369	77.0461	49.9134	14.2653	3.2088	44.7013	11902
30 HS-2®	75.2414	41.0284	10.1599	3.2088	44.5304	16047
2 SM-16, 13x44	76.493	45.7631	17.7755	3.2088	43.3448	13738
6 SM-16, 44x64	77.0755	43.6311	11.2913	3.2088	43.0174	13353
35 SBA-470 Conquistador®	76.1664	46.6153	10.0301	3.2088	41.9339	10158

FDN= Fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácido, LDA= Lignina en detergente ácido, PC= Proteína cruda y DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de materia seca, RUT= Rendimiento útil.

En el anexo 5 se muestran los estadísticos simples de cada una de las variables analizadas.

**Anexo 5.** Estadísticos simples.

Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
<b>DFM</b>	288	82.94097	5.62225	23887	72	97
<b>DFF</b>	288	85.32639	5.98992	24574	72	99
<b>ALP</b>	288	2.42917	0.2869	699.6	1.51	3.256
<b>ALM</b>	288	1.2305	0.24739	354.384	0.652	1.736
<b>RGR</b>	288	6277	2596	1807720	599.58	15618
<b>RMS</b>	288	11566	2514	3331019	4661	17716
<b>RHT</b>	288	1.65238	0.37555	475.8867	1.01509	2.51432
<b>RHS</b>	288	4906	1381	1413059	1188	10220
<b>RTS</b>	288	6649	1594	1914960	3187	12320
<b>RUT</b>	288	11879	2945	3421144	5405	22877
<b>FDN</b>	288	75.17598	3.43771	21651	65.2134	85.3612
<b>FDA</b>	288	45.7771	4.34306	13184	35.1806	57.81
<b>LDA</b>	288	11.03439	3.35474	3178	5.7343	18.4165
<b>PC</b>	288	2.31198	0.63282	665.8509	1.02025	3.87695
<b>DIVMS</b>	288	49.08311	4.42866	14136	38.7883	60.1789

RGR= Rendimiento de grano, RMS= Rendimiento de materia seca, DFM= Días a floración masculina, DFF= Días a floración femenina, ALP= Altura de planta, ALM= Altura a la mazorca, RHT= Relación hoja-tallo, RUT= Rendimiento útil, FDN= Fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácido, LDA= Lignina en detergente ácido, PC= Proteína cruda y DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de materia seca.