

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Caracterización Morfológica e Interacción Genotipo Ambiente de 24 Poblaciones
Perteneientes a Cuatro Razas de Maíz del Estado de Puebla

Por:

JUAN HERNÁNDEZ RUÍZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Caracterización Morfológica e Interacción Genotipo Ambiente de 24 Poblaciones
Perteneientes a Cuatro Razas de Maíz del Estado de Puebla

Por:

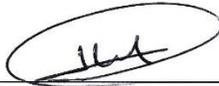
JUAN HERNÁNDEZ RUÍZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



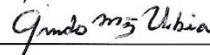
Ing. José Luis Herrera Ayala

Asesor Principal



M.C. Ma. Cristina Vega Sánchez

Coasesor

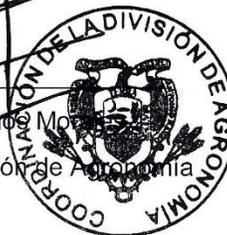


Dr. Armando Muñoz Urbina

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Octubre del 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme las puertas para realizar mis estudios de licenciatura a través de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción.

Al Ingeniero José Luis Herrera Ayala por darme la oportunidad de trabajar en su proyecto de investigación, proporcionándome la información para la realización de este estudio, por todas las enseñanzas que me brindó en el aula y por el tiempo dedicado para la revisión de este trabajo.

A la MC. Ma. Cristina Vega Sánchez por su asesoría y tiempo brindado durante la realización y revisión del presente trabajo, por sus enseñanzas y sus consejos valiosos que han contribuido en mi formación.

Al Doctor Armando Muñoz Urbina por su gran contribución en la realización y revisión de esta investigación y por brindarme su apoyo para dar solución a cuestionamientos que se presentaron durante la realización de este trabajo.

Al departamento de Fitomejoramiento y a todos sus académicos por todas las enseñanzas que me brindaron y ayudaron en mi formación.

A **mis papas** y a mis **hermanos** por todo el amor y apoyo que me han brindado durante toda mi vida, especialmente durante mi estancia en esta institución.

A todos mis **compañeros y amigos**, gracias por su amistad y su apoyo.

Un reconocimiento al **Ing. Arnulfo Ramírez Ortiz**, encargado del área bajo estudio y a los productores **custodios** de las razas de maíz de la región centro-oriente del estado de Puebla, por su contribución con su semilla y trabajo en la presente investigación.

DEDICATORIAS

A mis amados padres **Manuel Hernández** y **Juana Ruíz** por todo su amor, sus consejos, su apoyo incondicional y por haber confiado siempre en mí y que son mi motor de superación y de ser mejor persona cada día.

A mis queridos hermanos **Mario, Andrea, Marcos, Andrés, María y Carlos**, muchas gracias por todos sus consejos, por todo su apoyo brindado en esta etapa de mi vida y por contar siempre con ustedes.

A mis sobrinos **Romelia, Georgina, Claudia, Alexander, Karina y Liliana** que aunque están pequeños han contribuido en mi felicidad, los amo.

Y a todos mis parientes y amigos que me han dado palabras de aliento para poder realizar mis sueños, gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del maíz en México.....	4
Aspectos generales del estado de Puebla.....	5
Generalidades de los municipios considerados en el estudio.....	6
Clasificación taxonómica del maíz.....	11
Sistemática y Morfología.....	11
Clasificación de las razas de maíz.....	14
Razas de maíz bajo estudio.....	15
Caracterización morfológica.....	18
Conservación del germoplasma del maíz.....	18
Conservación <i>in situ</i>	18
Conservación <i>ex situ</i>	19
Análisis multivariados.....	19
Análisis de conglomerados.....	20
Análisis de componentes principales.....	21
Análisis Biplot para la interacción genotipo-ambiente.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS	23
Material genético.....	23
Caracterización de las poblaciones de maíz.....	23
Aspectos generales de las parcelas de evaluación agronómica <i>in situ</i>	26
Localidad de la evaluación de las poblaciones <i>ex situ</i>	26
Variables agronómicas consideradas en el experimento.....	27
Análisis de varianza.....	30
Análisis multivariados.....	32
Análisis de la interacción genotipo-ambiente, método Biplot.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Características cualitativas de las poblaciones.....	35

Características cuantitativas medidas en las poblaciones.....	35
Análisis de conglomerados para la caracterización morfológica.....	38
Análisis de componentes principales.....	41
Rendimiento <i>in situ</i> y medias de variables agronómicas.....	45
Rendimiento <i>ex situ</i> y medias de variables agronómicas.....	47
Relación entre caracterización y rendimiento <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	49
Localización geográfica de las parcelas de conservación <i>in situ</i>	50
Promedios de rendimiento de mazorca en dos ambientes.....	52
Análisis de conglomerados para rendimiento de mazorca.....	53
Análisis Biplot para la interacción genotipo-ambiente.....	54
CONCLUSIONES	57
LITERATURA CITADA	59
APÉNDICE	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Poblaciones correspondientes a las 24 accesiones evaluadas en el estado de Puebla.	24
Cuadro 2.	Características cuantitativas evaluadas en las poblaciones de maíz.	25
Cuadro 3.	Ubicación geográfica de la parcela de evaluación.	26
Cuadro 4.	Características del ensayo de rendimiento establecido en el Rancho La Providencia en el municipio de San Nicolás Buenos Aires.	27
Cuadro 5.	Características cualitativas evaluadas en las poblaciones de maíz.	36
Cuadro 6.	Promedios de 16 variables cuantitativas medidas en las poblaciones de maíz.	37
Cuadro 7.	Valores de distancia euclidiana y pasos de enlace para las 24 poblaciones y 16 variables, método enlace completo.	38
Cuadro 8.	Medias de siete grupos formados a un nivel de distancia de 4.9141 del análisis de conglomerados para las 16 variables evaluadas.	40
Cuadro 9.	Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de 16 variables evaluadas en las 24 poblaciones de maíz.	42
Cuadro 10.	Cuadrados medios y coeficientes de variación para rendimiento de mazorca y grano de las poblaciones evaluadas <i>in situ</i>	45
Cuadro 11.	Variables agronómicas de las poblaciones evaluadas <i>in situ</i> y prueba de DMS para rendimiento, medias ordenadas en relación al rendimiento de mazorca.	46
Cuadro 12.	Cuadrado medio y coeficiente de variación para rendimiento de mazorca de las poblaciones evaluadas <i>ex situ</i>	47
Cuadro 13.	Variables agronómicas de las poblaciones evaluadas <i>ex situ</i> y prueba de DMS para rendimiento, medias ordenadas en relación al rendimiento de mazorca.	48
Cuadro 14.	Origen y coordenadas geográficas de los lugares de	

	procedencia de las poblaciones de maíz utilizadas en la caracterización morfológica.	51
Cuadro 15.	Rendimiento de mazorca de las poblaciones evaluadas <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	53
Cuadro 16.	Medias de siete grupos formados a un nivel de distancia de 1.49 del análisis de conglomerados para las dos variables de rendimiento.	54
Cuadro 17.	Valores de correlación fenotípica entre las variables consideradas en el análisis de componentes principales. .	70
Cuadro 18.	Prueba de medias (DMS) para las variables rendimiento de mazorca y grano al 15% de humedad en ambientes <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	71
Cuadro 19.	Valores de distancia euclidiana para 24 poblaciones de maíz y rendimiento de mazorca en dos ambientes, método de enlace completo.	71
Cuadro 20.	Valores y vectores propios para los dos primeros componentes principales de las variables de rendimiento de mazorca <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	72
Cuadro 21.	Densidades de población estimadas al momento de cosecha en las parcelas de evaluación <i>in situ</i>	73
Cuadro 22.	Relación de Poblaciones, custodios y municipios de origen de las razas de maíz.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Dendograma para la clasificación de 24 poblaciones de maíz basada en caracteres morfológicos de mazorca y grano.	39
Figura 2.	Distribución de 16 variables cuantitativas y su relación con el peso de los vectores sobre los dos primeros componentes.	43
Figura 3.	Agrupación de poblaciones de maíz del estado de Puebla en base a los dos primeros componentes principales	44
Figura 4.	Agrupación de poblaciones de maíz y la relación entre caracterización y rendimiento.	50
Figura 5.	Ubicación geográfica de los municipios de origen de las 24 poblaciones evaluadas	51
Figura 6.	Representación gráfica del Biplot entre los dos primeros componentes principales del análisis genotipo x ambiente. .	55
Figura 7.	Morfología de mazorca de las 24 poblaciones de maíz bajo estudio.	67
Figura 8.	Dendograma para la clasificación de 24 poblaciones de maíz basados en variables de rendimiento de mazorca <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> .	72

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es considerado el cultivo más importante en México por su contribución a nivel alimentario e industrial, por esta razón es importante estudiar la diversidad local presente en las áreas rurales del país, la que es conservada y manejada en su lugar de origen. El Proyecto Maestro de Maíces Mexicanos a partir de 2008 inició la colecta de razas y criollos de maíz en el estado de Puebla y que conserva en el Banco Nacional de Germoplasma de los Productores de Maíz de México con sede en la UAAAN, por lo que se realizó el siguiente trabajo con los siguientes objetivos 1) Caracterizar 24 poblaciones de maíz cultivadas *in situ* en base a caracteres de mazorca y grano; 2) Evaluar el comportamiento agronómico de las poblaciones en dos ambientes contrastantes (*in situ* y *ex situ*); 3) Determinar la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de mazorca en las poblaciones evaluadas en los dos ambientes. Las poblaciones fueron establecidas durante el ciclo P-V del 2009 en nueve municipios de la región centro-oriente de Puebla en parcelas de conservación *in situ*, en colaboración con los custodios de cuatro razas de maíz (Cónico, Chalqueño, Elotes Cónicos y Cacahuacintle) y una Mezcla Varietal representadas en 24 poblaciones y en San Nicolás Buenos Aires se estableció un ensayo de rendimiento (*ex situ*) bajo condiciones de riego, densidad de siembra y fertilización uniforme. Durante la cosecha en cada parcela de conservación *in situ* se seleccionaron plantas de maíz con competencia completa, de las cuales se tomaron 20 mazorcas para realizar la caracterización, además se efectuó la evaluación del comportamiento agronómico de las poblaciones en los dos ambientes. Se estudiaron cuatro caracteres cualitativos, 16 caracteres cuantitativos de mazorca y grano y 12 variables agronómicas. Para la analizar los datos obtenidos de la caracterización se efectuó un análisis de conglomerados y componentes principales, en la evaluación del rendimiento de mazorca y grano se utilizó un análisis de varianza y en la

evaluación de la interacción genotipo-ambiente se efectuó el análisis Biplot.

De los resultados obtenidos en los caracteres cualitativos, se encontró diversidad en las poblaciones para el tipo de grano, forma de la superficie de grano y color de grano. En los caracteres cuantitativos sobresalió la población 7 (Chalqueño) por su longitud de mazorca y alto número de hileras por mazorca, la población 21 (Cacahuacintle) destacó por su alto volumen de 100 granos, y la población 24 (Mezcal Varietal) promedió valores altos en longitud de mazorca, número de hileras y peso de mazorca y grano al 10% de humedad. En las variables agronómicas evaluadas en los ambientes *in situ* y *ex situ* en el segundo ambiente se presentó una reducción de 20 días en la determinación de la floración masculina y femenina, además se obtuvo un incremento de 34.21% en el índice de prolificidad, resultando en un incremento en el rendimiento promedio de mazorca de 3.719 t ha⁻¹, con respecto al rendimiento *in situ*.

El análisis de conglomerados detectó una gran diversidad entre las poblaciones y permitió identificar siete grupos, de los cuales el G3 formado por las poblaciones 7 y 24 tuvo los más altos promedios para longitud de mazorca, número de hileras y peso de mazorca y grano al 10% de humedad. El G4 incluyó a las poblaciones de Cacahuacintle (21, 22 y 23) que por su tamaño de semilla obtuvo los más altos promedios para peso y volumen de 100 granos. En el G6 se ubicaron las poblaciones 5 y 6 (Cónico x Arrocillo), 8 y 9 (Chalqueño) que tuvieron un alto promedio en el número de granos por hilera. En el análisis de componentes principales con los tres primeros componentes se explicó el 81.4% de la variación total de los datos. En el primer componente las variables más importantes fueron las de grano: ancho y grosor de grano y volumen de 100 granos. En el segundo componente las variables con mayor influencia fueron las de mazorca: longitud y diámetro de mazorca y peso de mazorca al 10% de humedad.

El análisis de varianza para rendimiento de mazorca y grano *in situ* detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre poblaciones y se obtuvieron bajos coeficientes de variación con valores de 21.6 y 22.5%, respectivamente. En la prueba DMS (0.01) sobresalieron las poblaciones 5 y 18 (Elotes Cónicos) con rendimientos

de mazorca de 10.501 y 8.910 ton ha⁻¹; las cuales se localizaron en los municipios de Atzitzintla y Tlachichuca, respectivamente. En el análisis de varianza para rendimiento de mazorca *ex situ* no se detectaron diferencias entre poblaciones obteniéndose un coeficiente de variación de 22.6%, sin embargo, al efectuar la prueba DMS (0.05) se encontró que las poblaciones 7 y 24 fueron superiores en rendimientos con promedios de 14.212 y 11.862 ton ha⁻¹ y se ubicaron en los municipios de San José Chiapa y Soltepec, respectivamente.

El modelo Biplot explicó el 100% de la interacción genotipo-ambiente para el rendimiento de mazorca. De acuerdo a este modelo, la poblaciones 5 y 18 sobresalieron en el ambiente *in situ*, mientras que las poblaciones 7 y 24 lo hicieron en el ambiente *ex situ*, estas poblaciones fueron las más inestables con respecto al rendimiento. En contraste las poblaciones que presentaron un buen rendimiento de mazorca en los dos ambientes fueron la 9 (Chalqueño), 10 (Chalqueño x Elotes Cónicos) y 21 (Cacahuacintle) que se consideran como más estables, las cuales se localizan en los municipios de Soltepec, Atzitzintla y Chalchicomula de Sesma, respectivamente.

Palabras Clave: *Zea mays* L., Razas de maíz, Caracterización, Análisis multivariado y Análisis IGA-Biplot.

SET'UBTASOBIL

Li ixime (*Zea mays* L.) nabil ti ja' más xich' ts'unel ta sp'ejel Mejicoe, yu'un ja' ti mas ep xich' tunel ta jve'eltik xchi'uk ta k'usitik yan stak' pasel-oe, ja' yu'un sk'an ono'ox ak'o xich' chanbeel lek sk'oplal ti k'u yepal sbats'i ts'unbaltak li ixim butik oy ta tael ta sjoylej yosilal Mejicoe, ja' ti butik xlaj yich'ik ts'unel xchi'uk k'uxubinel ta yavilyosilaltakike. Li Proyecto Maestro yu'un Maíces Mexicanos ta 2008 ilik sk'elel-stsobel sts'unbaltak xchi'uk sbats'i tsunbaltak ixim ta yosilal Puevla, ti k'u yepal stsoboj li sts'unbaltak ixime tey snak'oj skotol ta Banco Nacional sventa Germoplasma ta UAAAN, ja' yu'un iyich' pasel li abtel li'i sventa xich'ik tabeel smelolal li: 1) Chanel-sp'isel 24 ta chop sts'unubaltak ixim ti ts'unbilik *in situ* ti buy ja' no'ox iyich'ik tunel xch'ixil ixim xchi'uk sat ixim; 2) P'isel-yojtakinel ti k'usba stalel-xch'iel li sts'unbaltak ixim iyich'ik ts'unel ta cha' vok' osil-chabajebaletike (*in situ* xchi'uk *ex situ*); 3) Chanel-yojtakinel li k'usba tspas li sts'unbaltak ixim ta juju vok' osil-balumiletik (IGA) ti xvinaj ta k'u yepal iyak'ik li xch'ixikil yixmaltakike. Li tsunubiletike iyich'ik ts'unel ja'o ta yorail k'epelal-jo'tik (P-V) ta 2009 ta baluneb bik'tal lumetik (9 municipios) ta o'oltikba yosilal Puevla ta bik'tal chabajebaletik ti bu yokel to yakal chich'ik chabibeel li stsunbaltakik *in situ*, ikoltavanik euk ta abtel li yajvaltak chan vok' sts'unbaltak ixime (Cónico, Chalqueño, Elotes Cónicos xchi'uk Cacahuacintle) xchi'uk jun kapvots' lekubtasbil ts'unubil, 24 ts'unubiletik ta skotol, ja' no'ox jech noxtok, ta San Nicolás Buenos Airese iyich' ak'el jsep sk'elobil-xchanobil (*evaluación ex situ*) ti iyich'ulan at'esel leke, lek iyich' p'isel ti k'u yepal iyich' ts'unele xchi'uk lek p'isbil iyich' li syaxal-vomolale. K'alal iyich'ik k'ajel li 24 ta chop ts'unubiletik ta jelekantik chabajebale (parcelas *in situ*) iyich' t'ujel ti jay tek' xcho'btikal oyik ta tsalbail pe ti lek ch'iemike, ja' tey iyich' tsakel 20 ta ch'ix ixim sventa ti x-och xchanel-sp'iselike (*caracterización*), ja' no'ox jech noxtok, iyich' p'isel-yojtakinel li k'usba stalel-xch'iel li stsunbaltak ixim ta cha' vok' jelekantik osil-balumiletike. Iyich'ik chanel-sp'isel chan chop mo stak' p'isel yojtakinobil (variables cualitativas), 16 stak' p'isel yojtakinobil (variables cuantitativas) ti buy ja' no'ox iyich'ik tunel xch'ixil ixim xchi'uk sat ixim, xchi'uk 12 yojtakinobil k'usba stalel-xch'ielik (variables agronómicas) li ts'unubiletike. Sventa xich' na'el-yojtakinel li k'usitik iyich'ik tael k'alal iyich'ik chanel-p'isel li ts'unubiletike, iyich' pasel jun analisis yu'un konglomerados xchi'uk jun analisis yu'un

komponentes principales, ja' no'ox jech noxtok, ta sventa xich' na'el-joytakinel li k'u yepal iyak' li xch'ixikill ixim xchi'uk sat ixim ta 24 ta chop sts'unbaltak ixime iyich' tunel jun analisis yu'un variansa, li ta xchanel-joytakinel li k'usba tspacek li ts'unubiletik ta juju vok' osil-balumiletike (IGA) iyich' tunel jun análisis Biplot.

Li k'usitik iyich' tael ta mo stak' p'isel joytakinoible (variables cualitativas) ja' ti toj jelekantik li ts'unubiletik ta k'usba sat ilok'e (forma de grano), ti k'usba sba li sate (forma de la superficie del grano) xchi'uk ti k'usba sbone (color de grano). Li ta stak' p'isel joytakinoible (variables cuantitativos) lek ilok' ti ts'unubil 7 (Chalqueño) yu'un ja' ti toj toyol iyich' tael li snatil xch'ixil ixime (LM) xchi'uk ti mas ep ilok' li xcholobil sat ixime (NH), li ts'unubil 21 (Cacahuacintle) lek ilok' yu'un ja' ti toyol ilok' li k'u smakoj ul smakoj li 100 ta p'ej sat ixime (V100G), xchi'uk li ta ts'unubil 24 (Mezcla Varietal) toyol ilok' ti snatil xch'ixil ixime (LM), li xcholobil sat ixime (NH), li yalal xch'ixil ixime (PM) xchi'uk li yalal sat ixim ta 10% sp'isol stakinal-syaxale (PG10%H). Li ta sp'isel-joytakinoibil li k'usba stalel-xch'iel li sts'unbaltak ixim (evaluación agronómica) ta cha' vok' osil-chabajebaletik *in situ* xchi'uk *ex situ* li ta xchibal osile iyich' ilel ti ikomkomib 20 k'akal ti k'u sjalil k'alal iyich' avel li ts'unubiletike k'alal to ti ilok' stsuk' li yietik (DFF) xchi'uk sts'utujal li chobtike (DFM), ja' no'ox jech noxtok, ip'ol jun 34.21% li ta sp'isobil k'alal cha' ch'ix ixim xak' li jutek' chobtike (IP), ta skoj taje, ja' yu'un ip'ol 3.719 t ha⁻¹ li k'u yepal iyich' tael li xch'ixikill ixim (RM) ta osil-chabajebal *ex situ*.

Li analisis yu'un konglomeradose ista ti ep jelekantik ta chop li ts'unubiletike xchi'uk ixch'akanan ta juk vok' (7 grupos), ja' yu'un ti G3 ti buy oyik li ts'unubiletik 7 xchi'uk 24 mas toyol istaik sventa snatil xch'ixil ixim (LM), xcholobil sat ixim (NH), yalal xch'ixil ixim (PM) xchi'uk sat ixim ta 10% stakinal-syaxale (PG10%H). Li G4 istik' li ts'unubiletik yu'un Cacahuacintle (21, 22 xchi'uk 23), skoj ti toj muk' li sat yixmalike toyol ilok' ti yalal (P100G) xchi'uk ti k'u yepal smakoj li 100 ta p'ej sat ixime (V100G). Li ta G6 te i-ochik li ts'unubiletik 5, 6 (Cónico x Arrocillo), 8 xchi'uk 9 (Chalqueño) yu'un ep ilok' li jayib sat yixmalik ta xcholobile (NGH). Li ta análisis yu'un componentes principalese ta oxib no'ox komponeteetik iyich' albeel smelol 81.4% li ta skotolal-o datoetike. Li ta sba componentee (CP1) li variableetik mas tsots sk'oplalike ja'ik yu'un li sat ixime: sjamlej (AG), spimil (GG) xchi'uk ti k'u yepal smakoj li 100 ta

p'ej sat ixime (V100G). Li ta xchibal komponentee li mas tsots sk'oplal variableetike ja'ik yu'un li xch'ixil ixime: snatil (LM), syijil (DM) xchi'uk yalal li xch'ixil ixim ta 10% stakinal-syaxal (PM10%H).

Li analisis yu'un variansa sventa ti k'u yepal xak' li xch'ixikil ixim (RM) xchi'uk sat ixim (RG) *in situ* ista ti toj jelekantik li juju chop ($P \leq 0.01$) ts'unubiletike, ja' no'ox jech noxtok, yalel iyich' tael li koeficienteetik yu'un variacione, ja'ik 21.6% sventa li k'u yepal iyak' li xchixikil ixim (RM) y 22.5% sventa li k'u yepal iyak' li sat ixime (RG).

Li ta sk'elobil DMS (0.01) mas lekik ilok' li ts'unubiletik 5 xchi'uk 18 (Elotes Cónicos) yu'un iyak' xch'ixil yixmalik ta 10.501 xchi'uk 8.910 ton ha⁻¹, le'ike iyich'ik tael ta bik'tal lum-osiletik Atzitzintla xchi'uk Tlachichuca. Li ta análisis yu'un variansa sventa li k'u yepal iyak' li xch'ixikil ixim *ex situ* mu'yuk buy jelel iyich' tael li ta juju chop ts'unubiletike, pe iyich' tale jun koeficiente yu'un variacion ta 22.6%, ja' no'ox ti k'alaluk iyich' pasel ti sk'elobil DMS (0.05) iyich' tael ti li ts'unubiletik 7 xchi'uk 24 mas lekik ilok'ik ta k'uyepal iyak' ti xch'ixikil ixime (RM) yu'un islok'esik 14.212 xchi'uk 11.862 ton ha⁻¹ te ilok'ik ta bik'tal lum-osiletik San José Chiapa xchi'uk Soltepec.

Li modelo biplote iyalbe smelol 100% li k'usba tspas li sts'unbaltak ixim ta juju vok' osiletike-balumiletike (IGA) sventa ti k'uyepal iyak' ti ixim xchi'uk sbakalile (RM). Ti modelo li'i iyal ti li ts'unubiletik 5 xchi'uk 18 lekik ilok'ik li ta osil *in situ*, pe li ts'unubiletik 7 xchi'uk 24 mas lekik ilok'ik ta osil *ex situ*, li ts'unubiletik li'i (7 xchi'uk 24) mas jelekantik k'usba ispasik (más inestables) ta sventa ti k'uyepal iyak' li xch'ixikil yixmalike (RM). Ta jot-oe, li ts'unubiletik ti lek iyak' yixmalik ta xcha' vok'ol osil-balumiletike ja'ik 9 (Chalqueño), 10 (Chalqueño x Elotes Cónicos) xchi'uk 21 (Cacahuacintle) taje sk'an xal ti lek ich'iik ta xcha' vok'ol osil-balumiletike (más estables), ja' te talem sts'unbalik ta bik'tal lum-osiletik Soltepec, Atzitzintla xchi'uk Chalchicomula de Sesma.

Sna'obil k'opetik: *Zea mays* L., Sts'unbaltak ixim, Chanel-sp'isel, Analisis multivariados xchi'uk Analisis IGA-Biplot.

INTRODUCCIÓN

México es considerado como el centro de origen y domesticación, y uno de los centros más importantes de diversidad del maíz (Matsuoka *et al.*, 2002). La variabilidad genética de maíz constituye una riqueza para la población mundial, y puede ser la base para lograr la soberanía alimentaria de México, en especial ante los cambios climáticos (Preciado y Montes, 2011). La evaluación de dicha diversidad es importante para los programas de mejoramiento genético, por su potencial como fuente de características nuevas, exóticas y favorables (Vigouroux *et al.*, 2008). Por lo anterior, la protección, caracterización y conservación del germoplasma nativo, así como los saberes y conocimientos tradicionales asociados, son acciones impostergables, sobre todo ante las evidencias que existen de pérdida y extinción de algunas poblaciones (Lazos y Chauvet, 2011), situación que podría agudizarse ante los efectos del cambio climático (Bellon *et al.*, 2011).

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

Por otra parte el reto de los fitomejoradores es identificar genotipos que presenten alto rendimiento y comportamiento estable a través de ambientes contrastantes; ya que este es el primer paso para implementar un programa de mejoramiento genético que incluya poblaciones de maíz nativo sobresalientes (Martínez *et al.*, 2016); siendo fundamental llevar a cabo ensayos de rendimiento en varios ambientes. Esta estrategia favorece la conservación *in situ* del germoplasma, el intercambio o la compra y venta de semilla entre agricultores (González *et al.*, 2006). En la determinación de la intensidad de la interacción genotipo-ambiente de las poblaciones de maíz se han utilizado técnicas multivariadas, como el análisis Biplot propuesto por Sánchez (1995), el cual es una técnica exploratoria para el estudio de la estructura de una matriz de datos compuesta de genotipos (arregladas en hileras) y ambientes (arregladas en columnas). Su propósito es reemplazar los análisis individuales en los que los dos primeros componentes principales se usan para representar genotipos y ambientes. La representación gráfica del Biplot permite determinar si existen patrones entre genotipos para la característica que es evaluada en este caso rendimiento y cuáles separan a los grupos definidos y la relación entre los ambientes considerados en el análisis.

Dentro de este contexto en el presente estudio se realizó la caracterización de poblaciones de maíz establecidas en parcelas de conservación *in situ* de la región centro-oriente del estado de Puebla y que además se resguardan en el Banco de Germoplasma de los productores de maíz de México conservados en la UAAAN, esto con la finalidad de poder identificar genotipos superiores con buen comportamiento agronómico y evaluar su respuesta de rendimiento en diferentes ambientes lo que permitirá que éstos puedan ser explotados y utilizados en el mejoramiento genético, por lo tanto se efectuó la presente investigación con los siguientes objetivos:

Objetivos

- Caracterizar morfológicamente 24 poblaciones de maíz cultivadas *in situ* en el estado de Puebla.
- Evaluar el comportamiento agronómico de las poblaciones en dos ambientes contrastantes (*in situ* y *ex situ*).
- Determinar la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de mazorca de las poblaciones evaluadas en dos ambientes contrastantes.

Hipótesis

- El estudio de caracteres de la mazorca y grano permite clasificar la diversidad entre los grupos raciales.
- La evaluación agronómica de las poblaciones de maíz permite explicar la variación en rendimiento entre las poblaciones.
- Las poblaciones de maíz criollo responden de manera diferente a las variantes del ambiente de crecimiento.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz en México

En México, el maíz es el cultivo más importante desde el punto de vista alimenticio, industrial, político y social, siendo un elemento estratégico para la soberanía y seguridad alimentaria en sus distintas formas de usos y valores socioculturales de los mexicanos, principalmente para el medio rural. La importancia del maíz se refleja en el consumo *per cápita* ya que es de 330 g d⁻¹ (Reynoso *et al.*, 2014).

La amplia variabilidad del maíz en México se percibe en las numerosas poblaciones nativas cultivadas en diferentes nichos del país, las cuales presentan niveles de variación importantes en atributos morfológicos, agronómicos y utilitarios (Muñoz, 2005). Por ello, en México es necesario estudiar la diversidad del maíz dentro de regiones geográficas; uno de los grupos de mayor interés es el denominado “Tipo de México Central” (Kuleshov, 1981), también conocido como Complejo Piramidal Mexicano. Este grupo incluye a las razas: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Cónico, Elotes Cónicos, Cacahuacintle y Chalqueño, todas ellas cultivadas en Valles Altos que comprenden los estados de México, Puebla y Tlaxcala.

En el ciclo 2013, se sembró maíz en casi todos los estados de la república mexicana, con una producción aproximada de 23.273 millones de toneladas de maíz, en una superficie de 7.426 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 3.3 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2014) y es el cultivo que presenta el mayor número de productores con 4 millones, y de éstos 3.2 millones son ejidatarios (SAGARPA-SIAP, 2012). El INEGI (2014) describió que en 82.2% de la superficie cultivada en México se utilizan semillas de variedades criollas, las cuales además de estar adaptadas a las condiciones climáticas y tecnológicas de los productores, poseen características que les permite responder a sus gustos alimenticios de poblaciones y culturas muy

específicas.

El Estado de Puebla ocupa el octavo lugar en superficie cosechada de maíz (INEGI, 2010) y 93 % de esa área se cultiva en condiciones de temporal (INEGI, 2007). En áreas de temporal en donde las lluvias son mal distribuidas, como es el caso del estado de Puebla, las semillas de las variedades criollas normalmente son obtenidas por el productor después de la cosecha, realizando la selección con base a características morfológicas de la mazorca tales como: tamaño, forma, color, sanidad, entre otros.

Aspectos generales del estado de Puebla

El Estado de Puebla se encuentra ubicado al Sureste del Altiplano de la República (INAFED, 2010), entre la Sierra Nevada y al Oeste de la Sierra Madre Oriental tiene la forma aproximada de un triángulo isósceles cuyo vértice apunta hacia el norte y la base hacia el sur; se encuentra entre los paralelos 17° 52' - 20° 52' latitud norte y los 96° 43' y 99° 04' de longitud Oeste; está limitado al Norte con Veracruz, al sur con Oaxaca y Guerrero; al oeste con Morelos, Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo y al este con Veracruz.

La entidad tiene una superficie total de 33,919 Km² que representa el 1.7% de la nacional; ocupa el vigésimo primer lugar en el país. En cuanto a su integración territorial, Puebla cuenta con 4,930 localidades.

La situación geográfica y la diversidad de alturas y regiones naturales, han conferido al estado de Puebla una integración climatológica de las más variadas del país. Las características climáticas promedio de la entidad con una temperatura media de 16°C, la estación de lluvias se inicia en mayo, se establece en junio y termina en octubre, con un promedio anual de precipitación de 801 milímetros.

Aproximadamente 11 tipos de clima han sido precisados; sin embargo, en el estado se distinguen principalmente cinco regiones climáticas: la parte central y sur presenta un clima templado subhúmedo con medias anuales de 858 milímetros de precipitación y 15° C de temperatura; en el suroeste el clima es cálido y semicálido,

subhúmedo en ambos, con medias anuales de 830 milímetros de precipitación y 22°C de temperatura; el norte, donde se presenta un clima cálido y semicálido, húmedo en ambos, pero con precipitación de 2,250 milímetros, y 22°C de temperatura; en la región sureste existen áreas en las que los climas son semisecos y la temperatura varía desde cálido hasta templado, las medias anuales con precipitación de 550 milímetros, y 22°C, de temperatura y; finalmente, la zona de los volcanes, en donde los climas varían de semifríos hasta muy fríos.

Generalidades de los municipios considerados en el estudio

Aljojuca

El nombre de Aljojuca proviene de las dicciones mexicas. "atl", agua; "xoxouhqui", azul, color de cielo, y "ca", en; forman el nombre atl-xoxouhca, pronunciado por alteración Aljojuca que significa "en el agua azul celeste".

El municipio de Aljojuca se localiza en la parte centro del estado de Puebla, sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 03' 36" y 19° 10' 18" de latitud norte y los meridianos 97° 28' 06" y 97° 34' 54" de longitud occidental.

En el municipio predomina el clima templado subhúmedo, que se presenta en la parte central, occidental y oriental del municipio. La mayor parte del territorio presenta zonas dedicadas a la Agricultura de temporal, donde se cultiva maíz, cebada, haba y frijol.

Atzitzintla

Esta palabra proviene de las voces náhuatl: "atl" agua; "tzin" apócope de tzintli, diminutivo, y tzintlan, abajo; de lo cual resulta Atzintzintlan que significa "Agüita abajo, en la parte inferior".

El municipio de Atzitzintla, se localiza en la parte centro-este del Estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 54' 42" y 18° 58' 48" de latitud norte y los meridianos 97° 14' 36" y 97° 22' 36" de longitud occidental.

En el municipio se presenta incremento de humedad y disminución de temperatura conforme se avanza hacia la sierra; se identifican dos climas:

Clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año. Se presenta en las zonas correspondientes a los llanos de San Andrés.

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano; este clima se presenta en las primeras estribaciones del volcán Citlaltépetl, al oriente en una franja ancha que viene de norte a sur y en las partes más elevadas del municipio.

Su principal cultivo es el maíz, frijol, trigo, arvejón, cebada y papa.

Chalchicomula de Sesma

El nombre procede de las dicciones nahuas "chalchihuitl", jade; "comul", pozo; y "la", partícula abundancial; lo que significa "Pozo donde abundan las Piedras Verdes o Chalchihuites".

El municipio de Chalchicomula de Sesma se localiza en la parte centro este del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 52'42" y 19° 05'36" de latitud norte y los meridianos 97° 14'24" y 97° 35'36" de longitud occidental.

Clima frío: se presenta en la cumbre del volcán Citlaltépetl.

Clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano: se presenta en las faldas inferiores, en un área reducida, al pie de las estribaciones meridionales y en una franja longitudinal occidental del volcán Citlaltépetl y cruza el centro del municipio.

Clima semiseco templado con lluvias en verano: se presenta en una gran área del sur del municipio.

Oriental

El primitivo nombre de la población, se origina de las voces nahuas: xalla, arenal y con, en; que quiere decir: "En el arenal".

El municipio de Oriental se localiza en la parte centro este del Estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 13' 36" y 19° 27' 36" de latitud norte y los meridianos 97° 30' 36" y 97° 40' 24" de longitud occidental.

En el municipio se presentan dos climas: clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año; es el clima predominante, ocupa el centro y sur del municipio. Clima templado subhúmedo con lluvias en verano; se presenta solamente al noreste del municipio.

San Francisco Altepexi

Proviene de las voces nahuas procede de "atl", agua; "tepexitl", peñasco, y "c", en; se forma Atl Tepexi-C, cuyo significado es "agua en el peñasco".

El municipio de Altepexi se localiza en la parte sureste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 18'30" y 18° 25'48" de latitud norte y los meridianos 97° 15'18" y 97° 20'36" de longitud occidental.

Presenta sólo dos climas característicos del Valle de Tehuacán:

Clima seco semicálido con lluvias en verano y escasas a lo largo del año: se presenta en la mayoría del municipio.

Clima seco muy cálido: el más seco de los esteparios, ocupa la parte sur del municipio.

San José Chiapa

Chiapa, formado de chiahuitl, lodo cenagoso, pantano, y pa, el; significa "en el pantano o en el cieno".

El municipio de San José Chiapa, se localiza en la parte centro norte del Estado de Puebla, sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 10' 42" y 19° 19' 18" de latitud norte y de los meridianos 97° 40' 00" y 97° 50' 42" de longitud oeste.

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, se presenta al centro y poniente del municipio, clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año se presenta en la parte oriental del municipio.

San Nicolás Buenos Aires

Tezontilco; proviene de "tetl", piedra; "tzontli", cabellera y "co", en; unidas las radicales significan "en la cabellera de piedra".

El municipio de San Nicolás Buenos Aires se localiza en la parte centro-este del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 08' 36" y 19° 20' 00" de latitud norte y los meridianos 97° 28' 36" y 97° 34' 54" de longitud occidental.

Colinda al norte con Oriental y Tepeyahualco, al sur con San Salvador el Seco y Tlachichuca, al este con Guadalupe Victoria y al oeste con San Salvador el Seco.

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Ocupa la parte meridional del municipio.

Clima semiseco templado con lluvias en verano. Se presenta en la parte septentrional del municipio.

El municipio produce principalmente, maíz, frijol, haba, trigo y girasol, cuenta con hortalizas como cebolla, papa, col, zanahoria, cilantro y tomate.

Soltepec

El nombre original de este agrupamiento humano se conoció con el nombre de Zoyaltepec, palabra que se compone de las siguientes raíces: "zoyatl", palma; "tepetl", cerro y "c" en, que significaba "en el cerro de la palmas". Posteriormente y con el correr de los años, la mencionada palma de zóyatl fue desapareciendo y por este motivo decidieron ponerle el nombre de Soltepec que significa "en el cerro de las codornices" que quiere decir en nahua "zollin": codorniz; "tepetl": cerro, y "c": en.

El municipio de Soltepec se localiza en la parte central de estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 04' 00" y 19° 12' 42" de latitud norte y los meridianos 97° 40' 36" y 97° 12' 36" de longitud occidental.

Predomina el clima subhúmedo: se presenta en una franja latitudinal que cubre el sur, suroeste, noreste y centro del municipio.

Tlachichuca

Tlachichuca, se deriva de las palabras náhuatl tlachichiuhi-qui: artesano; y can: lugar; que significa: Lugar de artesanos. Puede también haberse formado por: tlalli: tierra, chichiuhqui: el que trabaja o hace algo, derivado de chihua: hacer, y can: lugar, "Lugar de los que trabajan mucho la tierra".

El municipio de Tlachichuca se localiza en la parte centro-este del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 01' 36" y 19° 19' 54" de latitud norte y los meridianos 97° 10' 24" Y 97° 30' 18" de longitud occidental.

En el municipio se identifican cinco climas:

Clima frío: Se presenta en el volcán Citlaltépetl. Clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano: Se presenta en las estibaciones orientales del Citlaltépetl o Pico de Orizaba. Clima semifrío subhúmedo: Se presenta en las zonas montañosas del municipio, exceptuando la Cumbre del Citlaltépetl y en los cerros gemelos de Las Derrumbadas. Clima templado subhúmedo con lluvias en verano: Se presenta una gran franja longitudinal que cruza el centro y norte del municipio. Clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año: Se localiza en las estribaciones septentrionales de Las Derrumbadas.

Clasificación taxonómica del maíz

Según Cabrerizo (2012) el maíz se clasifica de la siguiente manera:

Reino: *Vegetal*

Familia: *Poacea*

Subreino: *Embriobionta*

Género: *Zea*

División: *Angiospermae*

Especie: *Mays*

Clase: *Monocotyledoneae*

Nombre científico: *Zea mays* L.

Orden: *Poales*

Sistemática y Morfología

El maíz es una planta anual, herbácea, monoica, sus células poseen $2n$ cromosomas (10 pares); presenta gran desarrollo vegetativo, que puede alcanzar hasta 5 m de altura (lo normal son 2 a 2,5 metros), su tallo es nudoso y macizo y lleva de 15 a 30 hojas alargadas y abrazadoras, con 4 a 10 cm de anchas y 35 a 50 de longitud (Ospina, 2015).

Raíz: es el primero de los componentes del embrión que brota cuando la semilla germina. En una planta madura, las raíces pueden profundizar hasta 1,8 m y explorar una superficie en círculo de 2 m de diámetro. En condiciones de clima cálido, la planta de maíz germina a los cuatro días, en el clima medio a los ocho días, en el frío moderado se necesitan 12 días para salir a la superficie del suelo y en las condiciones frías de Colombia, el maíz germina a los 16 días después de la siembra. El sistema radical de la planta de maíz presenta tres tipos de raíces:

- Las raíces primarias o seminales son emitidas por la semilla, suministran el anclaje y los nutrientes a la plántula; tienen una duración de dos a tres semanas; se reconocen inicialmente por mostrar un grupo de una a cuatro raíces.

- Las raíces adventicias se originan de los nudos que se encuentran debajo de la superficie del suelo y pueden alcanzar hasta dos m de profundidad; éstas constituyen casi la totalidad del sistema radicular.
- Por su parte, las raíces de sostén o soporte surgen de los nudos cerca de la superficie del suelo, son las que proporcionan estabilidad a la planta y disminuyen problemas de acame; estas raíces tienen la capacidad de realizar fotosíntesis y de absorber fácilmente el fósforo.

Tallo: además de cumplir la función de soporte de hojas, flores, frutos y semillas, transporta sales minerales y agua desde la raíz hasta la parte aérea de la planta, así como alimentos elaborados; está compuesto por una epidermis exterior protectora, impermeable y transparente, una pared de haces vasculares por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares.

Bajo condiciones especiales, como la pérdida de follaje por daños físicos, el tallo puede funcionar como órgano de almacenamiento de nutrientes, especialmente sacarosa, la cual ayuda al llenado del grano. El tallo alcanza su máximo desarrollo cuando la panoja ha emergido completamente y se ha iniciado la producción del polen.

Hojas: la planta de maíz posee entre 15 y 30 hojas que crecen en la parte superior de los nudos, abrazando el tallo mediante estructuras llamadas vainas. La cara superior de la hoja es pilosa, adaptada para la absorción de energía solar, mientras que la cara inferior, glabra, tiene numerosos estomas que permiten el proceso respiratorio. En la superficie foliar, justo en la unión del limbo con la vaina, existe una proyección delgada y semitransparente que envuelve el tallo llamada lígula, su función es restringir la entrada de agua y reducir las pérdidas por evaporación.

Flores: el maíz es una planta monoica, es decir, presenta en la misma planta flores masculinas y femeninas. Las flores masculinas se agrupan en una panícula terminal llamada espiga, y las femeninas se reúnen en varias panojas o mazorcas que nacen de las axilas de las hojas del tercio medio de la planta. Las espigas están formadas

por glumelas (un par), estambres (tres fértiles) y un pistilo rudimentario. Cada espiguilla posee dos florecillas funcionales y cada una de éstas posee tres anteras productoras de polen. Cuando las condiciones fisiológicas y ambientales lo permiten, las anteras liberan el polen y se produce la polinización, que ocurre casi siempre dos a tres días antes de la aparición de los estigmas o cabellos de la mazorca.

En clima cálido, las espigas del maíz liberan polen durante seis días consecutivos y durante todas las horas del día, independientemente de la fecha de siembra. La máxima liberación de polen sucede a los tres días de la dehiscencia; siendo las espiguillas del tercio medio y las últimas del tercio superior, las primeras en soltarlo. Los estigmas presentan máximo crecimiento a las 72 horas de iniciada la antesis. El crecimiento de los estigmas no se afecta con la temperatura y la humedad relativa, pero si se afecta la cantidad de polen liberado, que necesita entre 27 y 30°C de temperatura y de 52 a 86% de humedad relativa.

La mazorca o inflorescencia femenina está constituida por el raquis y olote (tusa), en el cual van un par de glumas externas, dos yemas, dos paleas y dos flores, una estéril y otra fértil por lo que el número de hileras de mazorcas es par. Si la flor femenina es fecundada, dará lugar a granos, más o menos duros, lustrosos, de color amarillo, púrpura o blanco; los granos se organizan en hileras que pueden variar entre ocho y treinta filas por mazorca, cada una con 30 a 60 granos, por lo que una mazorca puede tener de 400 a 1000 granos. Toda la inflorescencia femenina está protegida por las brácteas que tienen como función la protección del grano. Cada planta puede tener entre una a tres mazorcas dependiendo de la variedad, la población y las condiciones climáticas.

Grano: el grano de maíz es el fruto de la planta, compuesto por una cariósida que consta de tres partes principales: la pared, el endospermo triploide y el embrión diploide. La cubierta o capa de la semilla, que es la pared del ovario, se llama pericarpio, es dura y debajo de ella se encuentra la capa de aleurona, que le da el color al grano (blanco, amarillo, morado) y que contiene las proteínas. El embrión está formado por la radícula y la plúmula, ubicándose en el escutelo, localizado en la parte inferior del grano, donde va adherido a la tusa o raquis.

El porcentaje de tusa por planta oscila entre 18 y 22% con un índice de grano entre 78 y 82 %. La humedad del grano en la madurez fisiológica es de 30% en las zonas caliente y media, 43% en la fría moderada y 32% en la fría. El periodo vegetativo es de cuatro meses en el clima cálido, seis meses en el medio, ocho en el frío moderado y diez en el clima frío.

Clasificación de las razas de maíz

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (Anderson y Cutler 1942, Hernández y Alanís 1970).

El concepto y la categoría de raza son de gran utilidad como sistema de referencia rápido para comprender la variación de maíz, para organizar el material en las colecciones de bancos de germoplasma y para su uso en el mejoramiento, así como para describir la diversidad a nivel de paisaje. Sin embargo, cada raza puede comprender numerosas variantes diferenciadas en formas de mazorca, color y textura de grano, adaptaciones y diversidad genética. (Perales y Golicher, 2011).

Las razas se nombran a partir de distintas características fenotípicas: Cónico, por la forma de la mazorca; tipo de grano: Reventador, por la capacidad del grano para explotar y producir palomitas; por el lugar o región donde inicialmente fueron colectadas o son relevantes: Tuxpeño de Tuxpan, Veracruz; Chalqueño, típico del Valle de Chalco; o por el nombre con que son conocidas por los grupos indígenas o mestizos que las cultivan: Zapalote Chico en el Istmo de Oaxaca o Apachito en la Sierra Tarahumara (Wellhausen *et al.* 1951; McClintock *et al.*, 1981).

En la clasificación de razas en México realizada por Wellhausen *et al.* (1951) propusieron cinco grupos raciales los cuales presentan las siguientes características:

a) Razas indígenas antiguas: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Chapalote, Nal-Tel, tienen en común las siguientes características: Endospermo tipo maíz palomero, mazorcas pequeñas y son reventadoras.

b) Razas exóticas precolombinas: Cacahuacintle, Harinoso de Ocho, Sub-raza Elotes Occidentales, Olotón, Maíz Dulce. Estas razas fueron introducidas de Centro y Sudamérica en épocas precolombinas, se caracterizan por tener granos largos y harinosos, de color blanco y suave, excepto para algunos genotipos de maíz dulce.

c) Razas mestizas-prehistóricas: Cónico, Elotes Cónicos, Reventador, Tabloncillo, Tehua, Tepecintle, Comiteco, Jala, Zapalote Chico, Zapalote Grande, Pepitilla, Olotillo, Sub-raza Dzit-Bacal, Tuxpeño, Vandeño. Se creó que estas razas son producto del cruzamiento de las razas Indígenas Antiguas y las Exóticas Precolombinas con la introgresión de teocintle. Son prehistóricas porque no se tiene evidencia histórica de su origen.

d) Razas modernas incipientes: Chalqueño, Celaya, Cónico Norteño, Bolita. Estas razas se han desarrollado desde la época de la conquista.

e) Razas no bien definidas: Conejo, Mushito, Complejo Serrano de Jalisco, Zamorano Amarillo, Blando de Sonora, Onaveño, Dulcillo del Noreste, Cristalino de Chihuahua. Son colectas que requieren una caracterización adecuada para clasificarlas.

En estudios recientes Figueroa *et al.* (2013) señalan que en México existen 60 o más razas de maíz nativas, además de una gran cantidad de subrazas y variedades locales aún no bien caracterizadas.

Razas de maíz bajo estudio

Raza Cónico

La raza Cónico agrupa un conjunto de poblaciones de maíces de mazorca de forma cónica o piramidal, que presentan una amplia variación en color de grano, siendo el más frecuente el blanco, diferentes tonalidades de amarillo, morados y rojos; en textura de grano son principalmente semicristalinos y semidentados. Su longitud de ciclo de vida es de medio a precoz, (Wellhausen *et al.* 1951; CONABIO, 2011).

Se cultiva en las áreas agrícolas de temporal de zonas altas y templadas de la Mesa Central, principalmente en los estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo y predomina entre los 1,800 y 2,800 msnm. Esta raza presenta un vigor de emergencia alto y tolerancia al frío por lo que se llega a cultivar hacia las faldas de los volcanes del centro de México (Ortega *et al.*, 2011).

Raza Chalqueño

Es una de las razas más productivas y se caracteriza por sus plantas de porte alto, mazorcas grandes y cónicas con alto número de hileras. Presenta alto vigor de germinación y emergencia, ciclo largo y resistencia a la sequía en etapas medias de crecimiento (CONABIO, 2010).

Domina en las partes altas, arriba de 1,800 m en suelos volcánicos que retienen humedad de las precipitaciones invernales, y en terrenos con riego, donde no hay maíces mejorados adecuados en los valles altos del centro de México. También es fundamental para siembras en suelos de humedad en lugares altos de Durango, Zacatecas y en la Mixteca Oaxaqueña, (Muñoz, 2003; Hernández, 2010). Sus mazorcas presentan una alta proporción de desgrane debido a sus hileras numerosas, olote de grosor medio y grano grande.

En el valle de Chalco-Amecameca se distinguen, con base en estos caracteres, los tipos: “crema”, de grano semicristalino con coloraciones amarillo claro a blanco; “palomo”, de textura semiharinosa y grano blanco; “azul”, de grano semiharinoso, morado a azul oscuro; “colorado”, de textura semiharinosa y coloración rosado a rojo; y “amarillo”, ya en baja frecuencia, de textura semicristalina. Es una de las principales fuentes en la formación de maíces mejorados para valles y partes altas del centro de México, junto con materiales de la raza Cónico y en menor proporción de la raza Bolita. (Hernández, 2010; CONABIO, 2010).

Raza Elotes Cónicos

Esta raza fue considerada inicialmente como subraza de Cónico, derivada de ésta con posible introgresión de Cacahuacintle (Wellhausen *et al.* 1951), posteriormente se maneja como raza separada (Sánchez *et al.*, 2000; Carrera *et al.*, 2011).

Esta raza se caracteriza por sus mazorcas con granos semiharinosas de coloración rojiza, morado o negra, pigmentaciones que se presentan en la aleurona o en el pericarpio. Es característica en esta raza la presencia de un pedúnculo extremadamente pequeño o delgado, lo que da lugar a que los granos cubran prácticamente la base de la mazorca (CONABIO, 2010).

Se cultiva principalmente en la Mesa Central: Estado de México, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y partes altas y frías de Veracruz y en la Mixteca de Oaxaca, a alturas de 1,700 a 3,000 msnm (Wellhausen *et al.* 1951; Hernández, 2010).

Raza Cacahuacintle

Raza de grano grande y harinoso, predomina el grano blanco, aunque también puede presentar coloraciones rosas o azules. Es el maíz por excelencia para pozole y elotes en los valles altos centrales del país; en gran parte de los estados de México, Tlaxcala y algunas zonas templadas de Puebla (CONABIO, 2010).

El maíz Cacahuacintle es considerado como un cultivo alternativo para las regiones altas, es decir, de más de 2,400 msnm. Las principales entidades productoras de maíz Cacahuacintle en el país son, Puebla y el Estado de México; siendo este último el de interés, (ICAMEX, 2010).

Caracterización morfológica

La caracterización de germoplasma puede llevarse a cabo con diferentes métodos como son: caracteres morfológicos, agronómicos, citológicos, marcadores bioquímicos y marcadores moleculares RFLPs, AFLPs, RAPDs, microsatélites y otros (Aramendiz *et al.*, 2005). Al respecto, Franco e Hidalgo (2003) reportan que la caracterización a nivel morfológico es la medición de caracteres cualitativos y cuantitativos, que son de alta heredabilidad o que se transmiten a la descendencia de germoplasma en cualquier ambiente, lo que permite determinar el grado de similitud por medio de su apariencia morfológica o fenotipo y de variabilidad en las colectas.

Diversos autores concuerdan que los trabajos de caracterización permiten, entre otros aspectos, precisar y cuantificar qué tan variable es un recurso fitogenético, aspecto clave para la gestión de programas de mejoramiento o de conservación *in situ* y *ex situ* de dicho recurso (Defacio *et al.*, 2009; Núñez y Escobedo, 2015). Respecto al estado de Puebla, los trabajos de caracterización han cubierto las principales regiones productoras de maíz en la entidad, como el Valle de Puebla y el Altiplano Centro-Oriente (Hortelano *et al.*, 2012).

Conservación de germoplasma de maíz

La conservación es el manejo, preservación y uso de recursos genéticos, existen dos métodos fundamentales de conservación 1) conservación *in situ* y 2) conservación *ex situ*.

Conservación *in situ*

Conservación *in situ*, se define como la conservación de ecosistemas, hábitat naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de las especies en sus entornos naturales, y es el caso de las especies domesticadas o cultivadas, en el entorno donde han desarrollado sus propiedades distintivas (Boege, 2010).

Sus alcances y beneficios son mayores, ya que no solamente están relacionadas con la diversidad genética en sí. Particularmente, la conservación de la agrobiodiversidad

contribuye a: el mantenimiento de los procesos de adaptación y evolución de los cultivos que permiten el desarrollo de germoplasma nuevo, a los procesos de conservación de suelo, a la reducción del uso de plaguicidas; fortalece la economía de la unidad familiar al depender menos de insumos externos y representar soberanía productiva y del territorio, ya que es llevada por los agricultores y poseedores de los recursos, quienes deben ser los más indicados para percibir cualquier beneficio proveniente del material genético que ellos conservan (CONABIO, 2008). El mejoramiento participativo en comunidades de pequeños agricultores influye en el proceso de autosostenibilidad de la producción de semillas y en la obtención de variedades de maíz mejor adaptadas a estos sistemas de manejo (Toledo *et al.*, 2006).

Conservación *ex situ*

Niculcar *et al.*, (2015) enfatizan que la conservación *ex situ* es un método de conservación dedicado a la protección, rescate, mantenimiento, estudio y uso sustentable del patrimonio biológico, es vital para mantener la diversidad genética de especies de un país o región, así como sus interacciones y los procesos evolutivos que la originan. En este sentido, los bancos de germoplasma son instalaciones o centros para conservar recursos genéticos bajo condiciones favorables para prolongar su sobrevivencia, cuyo objeto final corresponde a la conservación *ex situ* de diversidad específica y genética. Estos bancos permiten la preservación en el tiempo y la valoración de los recursos genéticos mediante su estudio. Son la fuente o base del material para el desarrollo de nuevas variedades cultivables, de nuevas tecnologías biológicas o fuente de material para planes de restauración ecológica, entre múltiples posibilidades.

Análisis Multivariados

La información estadística en un análisis multivariado es de carácter multidimensional, por lo tanto la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariantes juegan un papel fundamental (Cuadras, 2018). En términos generales el método de análisis multivariado se refiere a todos aquellos métodos estadísticos

que analizan simultáneamente medidas múltiples (más de dos variables) de cada individuo. En sentido estricto, son la extensión de los análisis univariados.

Macuri (2016) señala que este análisis comprende procedimientos y técnicas para la síntesis, la presentación y el análisis multidimensional de caracteres, tanto cualitativos como cuantitativos, obtenidos a partir de un número de individuos. Debido a que las variables se consideran en forma simultánea, estas técnicas permiten interpretaciones más complejas que las logradas con métodos univariados. El análisis multivariado facilita la comprensión más adecuada y completa en las ciencias biológicas, y utiliza las correlaciones entre las variables o entre los objetos, que el método univariado directamente no considera, aprovechando así estas relaciones para buscar en los datos patrones o estructuras, lo cual enriquece la descripción de los mismos (Pérez *et al.*, 2014).

Análisis de conglomerados

El Análisis de Conglomerados o Análisis de Cluster es un método multivariado que trata de dar una explicación a las relaciones fenotípicas entre los individuos o Unidades Taxonómicas Operativas (UTOs) empleadas en la clasificación. Es un método analítico que se puede aplicar para clasificar las accesiones de un germoplasma en grupos relativamente homogéneos con base en alguna similitud existente entre ellas.

Su objeto consiste en ordenar objetos (genotipos) en grupos (clusters) de forma que el grado de asociación/similitud entre miembros del mismo clúster sea más fuerte que el grado de asociación o similitud entre miembros de diferentes cluster con respecto a algún criterio de selección predeterminado. Cada cluster se describe como la clase a la que sus miembros pertenecen (Vicente, 2006). En cuanto a los métodos de aglomeración o de agrupamiento se han establecido dos tipos: los jerárquicos y los no jerárquicos. Los jerárquicos, comúnmente utilizados, trabajan sobre la matriz de similaridad construida a partir de las medidas de asociación

aplicada a los datos; el resultado final es un árbol jerárquico o dendograma (también conocido como fenograma) que identifica relaciones entre las entidades agrupadas.

Núñez y Escobedo (2011) mencionan que la formación del número correcto de grupos se lleva a cabo realizando un corte del dendograma a una altura definida y la mejor manera de cortar la gráfica de árbol o dendograma es colocando una línea recta en alguna parte de la gráfica y contabilizar el número de grupos o cluster que se obtienen, de manera que los individuos incluidos en un mismo grupo guarden relación entre ellos de acuerdo a las características morfológicas evaluadas.

Análisis de Componentes principales

El Análisis de Componentes Principales es un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables de respuesta correlacionada en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas. El análisis de componentes principales se puede hacer sobre una matriz de varianza-covarianza de las muestras o sobre una matriz de correlación (Dallas, 2004).

Franco e Hidalgo (2003) señalan que el ACP es una herramienta útil para analizar los datos que se generan de la caracterización y evaluación preliminar del germoplasma, y permite conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas y la semejanza entre las accesiones; en el primer caso, con el fin de saber cuáles variables están o no asociadas, cuáles caracterizan en el mismo sentido o en el sentido contrario; y en el segundo, para saber cómo se distribuyen las accesiones, cuáles se parecen y cuáles no. También permite seleccionar las variables cuantitativas más discriminatorias para limitar el número de mediciones en caracterizaciones posteriores.

Federer *et al.*, (1987) mencionan que los componentes principales por definición se forman y evalúan en orden decreciente: el primer componente principal explica la mayor parte de la variabilidad de los datos originales; el segundo componente principal explica la segunda mayor parte, y así sucesivamente. De esta manera, se reduce la dimensionalidad del conjunto de datos originales y se facilita la interpretación de los mismos, ya que normalmente los dos o tres primeros

componentes principales explican una alta proporción de la variabilidad presente en las variables originales, pudiendo eliminar los últimos componentes principales.

Análisis Biplot para la interacción genotipo-ambiente

Bazinger *et al.* (2012) señalan que la interacción genotipo x ambiente (IGA) ocurre cuando los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente, la variabilidad ambiental es acentuada por diferentes factores bióticos y abióticos (clima, humedad, tipo de suelo, vientos, manejo agronómico del cultivo).

Uno de los retos que enfrentan los mejoradores es identificar genotipos que presenten alto rendimiento de grano y comportamiento estable a través de ambientes contrastantes; este es el primer paso para implementar un programa de mejoramiento genético que incluya poblaciones de maíz nativo sobresalientes (Luna *et al.*, 2015).

Existen diversas metodologías que explican la IGA desde una perspectiva multivariada, con la técnica de componentes principales. El análisis Biplot es una herramienta de visualización de datos que muestra la interacción en una gráfica de dos vías. Uno de los estudios donde se ha demostrado la efectividad de la gráfica Biplot para describir la IGA de poblaciones de maíz nativo es el realizado por Martínez *et al.* (2016) quienes evaluaron el rendimiento de grano de 25 poblaciones de maíz nativo de Chiapas en tres ambientes contrastantes con el objetivo de determinar la magnitud de la interacción genotipo x ambiente. El análisis de estabilidad se hizo utilizando la gráfica Biplot. El modelo explicó el 93.9% de los efectos combinados de poblaciones y la interacción poblaciones por ambientes para el rendimiento de grano, lo que permite mejorar el proceso de selección. De acuerdo con el modelo las poblaciones Tuxpeño-3 y Rocame-18 sobresalieron en Úrsulo Galván, mientras que Precoz-16, Olotillo-34 y Tuxpeño-35 lo hicieron en el ambiente formado por Ocozocoautla de Espinosa y Vista Hermosa. Las poblaciones de mayor rendimiento y estables a través de ambientes fueron Criollo amarillo31y Rocame-32 con potencial para responder en diferentes condiciones de sequía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Durante el ciclo P-V 2009 se establecieron *in situ* 24 poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) las cuales fueron caracterizadas morfológicamente; estas poblaciones también se evaluaron agrónomicamente bajo condiciones de temporal en las parcelas de los agricultores a través de nueve municipios cultivadas de acuerdo a prácticas tradicionales del productor, y bajo riego, densidad de siembra, fertilización uniforme y aplicación de insecticidas al cultivo en el Rancho La Providencia del municipio de San Nicolás Buenos Aires del estado de Puebla. En el Cuadro 1 se presentan los materiales evaluados de los cuales cuatro poblaciones pertenecen a la raza Cónico, tres a la raza Chalqueño, nueve a la raza Elotes Cónicos, tres a la raza Cacahuacintle; además se incluyen dos poblaciones de Cónico con influencia de la raza Arrocillo (Cónico x Arrocillo), una de la raza Chalqueño con influencia de Elotes Cónicos (Chalqueño x Elotes Cónicos), una de Chalqueño con influencia de Cónico (Chalqueño x Cónico), y una Mezcla Varietal la cual se caracteriza por tener cualidades relevantes incorporadas por el productor dado que son características importantes para él, por ejemplo puede ser resistencia al acame, a la sequía, vientos, entre otras.

Caracterización de las poblaciones de maíz

Para la caracterización de las poblaciones, durante la cosecha se seleccionaron plantas de maíz con competencia completa de las cuales se tomaron 20 mazorcas con características propias de la raza en conservación.

Las mazorcas seleccionadas se colocaron en arpillas debidamente etiquetadas, las cuales se trasladaron al Banco Nacional de Germoplasma de los Productores de Maíz de México (BNGPMM) con sede en la UAAAN donde se estabilizó el material

en un asoleadero protegiéndolo de plagas y para lograr la humedad conveniente para su manejo y caracterización en el laboratorio. (En la figura 7 del apéndice se muestran las fotografías de las mazorcas de las 24 poblaciones bajo estudio).

Las variables cuantitativas utilizadas para la caracterización fueron las de mazorca y grano (Sánchez *et al.*, 1993; Fernández *et al.*, 2010; Rocandio *et al.*, 2014).

Cuadro 1. Poblaciones correspondientes a 24 accesiones evaluadas en el estado de Puebla.

Población	Accesiones	Raza
1	UAAANIsP-043	Cónico rojo
2	UAAANIsP-025	Cónico amarillo
3	UAAANIsP-046	Cónico amarillo
4	UAAANIsP-039	Cónico ocho hileras
5	UAAANIsP-081	Cónico x Arrocillo
6	UAAANIsP-022	Cónico x Arrocillo
7	UAAANIsP-008-1	Chalqueño
8	UAAANIsP-008-2	Chalqueño
9	UAAANIsP-042	Chalqueño
10	UAAANIsP-080	Chalqueño x E. Cónico
11	UAAANIsP-074-2	Chalqueño x Cónico
12	UAAANIsP-044	Elotes Cónicos
13	UAAANIsP-076	Elotes Cónicos
14	UAAANIsP-015	Elotes Cónicos
15	UAAANIsP-011	Elotes Cónicos
16	UAAANIsP-021	Elotes Cónicos
17	UAAANIsP-041	Elotes Cónicos
18	UAAANIsP-047	Elotes Cónicos
19	UAAANIsP-049	Elotes Cónicos
20	UAAANIsP-051	Elotes Cónicos
21	UAAANIsP-075	Cacahuacintle
22	UAAANIsP-001	Cacahuacintle
23	UAAANIsP-106	Cacahuacintle
24	UAAANIsP-040	Mezcla Varietal

De la mazorca se midieron: la longitud usando una regla y para el diámetro de mazorca y olote se utilizó un vernier, además se contó el número de hileras y número de granos por hilera, los pesos de mazorca y grano al 10% humedad se obtuvieron de la siguiente manera: se utilizó el peso de las 20 mazorcas caracterizadas de las cuales se tomó el contenido de humedad y posteriormente se obtuvo el peso de mazorca y de grano al 10% de humedad con la siguiente fórmula:

$$Y = ((x (100-P1) / (100-P2)) / 20) \times 1000$$

Dónde:

Y= peso de mazorca o grano al 10% de humedad

x = peso de la semilla limpia

P1= humedad obtenida

P2= humedad estándar (10%)

En cuanto a los datos de grano éstos se obtuvieron de cada una de las 20 mazorcas de la muestra de cada población, midiendo las variables: peso y volumen de 100 granos, y la relación peso/volumen. Las dimensiones de longitud, ancho, y grosor del grano se determinaron en 10 granos de cada una de las 20 mazorcas, expresando el promedio en mm. Las variables cuantitativas evaluadas y las unidades en que se midieron se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características cuantitativas evaluadas en las poblaciones de maíz.

Número	Característica	Clave	Unidades
1	Longitud de mazorca	L.M.	Cm
2	Diámetro de mazorca	D.M.	Cm
3	Número de hileras	N.H.	
4	Número de granos por hilera	NGPH	
5	Peso de mazorca al 10% de humedad	PM10%H	g
6	Peso de grano al 10% de humedad	PG10%H	g
7	Diámetro de olote	D.O.	cm
8	Longitud de grano	L.G.	Mm
9	Ancho de grano	A.G.	Mm
10	Grosor de grano	G.G.	Mm
11	Relación AG/LG	AG/LG	
12	Relación GG/LG	GG/LG	
13	Relación GG/AG	GG/AG	
14	Peso de 100 granos	P100G	G
15	Volumen de 100 granos	V100G	Cc
16	Relación peso/volumen	RPV	g/cc

Para los caracteres cualitativos se consideraron: Forma de la mazorca: cilíndrica, cilíndrica-cónica, cónica, esférica. Tipo de grano: harinoso, semiharinoso, dentado, semidentado, cristalino, semicristalino, dulce, reventador, opaco-2 y ceroso. Forma de la superficie del grano: contraído, dentado, plano, redondo, puntiagudo y muy puntiagudo. Color del grano: blanco, amarillo, anaranjado, rosado, morado, azul, rojo, moteado, capa blanca y negro.

En la caracterización de mazorca y grano se utilizaron los descriptores para maíz (IBPGR, 1991); La Guía Técnica para la Descripción Varietal (SNICS-SAGARPA, 2009) y El Manual Gráfico para la Descripción Varietal de Maíz (SNICS-CP, 2009).

Aspectos generales de las parcelas de evaluación agronómica *in situ*

En nueve municipios del estado de Puebla se establecieron en coordinación con los agricultores las parcelas de conservación *in situ*, bajo condiciones de temporal y bajo las prácticas agronómicas tradicionales de los diferentes productores de acuerdo a su situación económica y de la ubicación de la parcela (Hernández, 2016), donde la fertilización es baja o nula, sin control de plagas y enfermedades presentes en el cultivo. La preparación del terreno es muy variada, en ocasiones realizando una rastra y el surcado lo realizan con tiro o yunta por lo accidentado del terreno y en las partes más planas con tractor propio o rentado, por lo que la densidad de siembra es muy variada tal como se muestra en el Cuadro 21 del Apéndice, observándose que la densidad de población al momento de la cosecha fue muy variable, 28, 095 plantas ha⁻¹ la más baja a 64, 298 plantas ha⁻¹ la más alta.

Localidad de la evaluación de las poblaciones *ex situ*

La localidad en donde se estableció el ensayo de rendimiento *ex situ* se ubica en el Rancho La Providencia perteneciente al municipio de San Nicolás Buenos Aires localizado en la parte centro-este del estado de Puebla (Cuadro 3) el cual presenta dos tipos de climas: templado subhúmedo con lluvias en verano ocupa la parte meridional del municipio y semiseco templado con lluvias en verano se presenta en la parte septentrional del municipio. Las características del ensayo de rendimiento se explican detalladamente en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Ubicación geográfica de la parcela de evaluación.

Municipio	Localidad	Latitud N	Longitud O	Msnm
San Nicolás Buenos Aires	Rancho la Providencia	19° 10' 34"	97° 32' 16"	2397

Cuadro 4. Características del ensayo de rendimiento establecido en el Rancho La providencia en el municipio de San Nicolás Buenos Aires.

Diseño	Bloques al Azar
Localidad	Rancho la Providencia
Fecha de Siembra	Marzo 22 de 2009
Régimen hídrico	Riego
No. De poblaciones	24
No. de repeticiones	2
No. de surcos por parcela	2
No. de matas por surco	17
Longitud de surco (m)	4.80
Distancia entre surcos (m)	0.82
Distancia entre matas (m)	0.30
Plantas por mata: sembradas	2
Aclaradas	1
Fertilización inicial	82-92-60
Complementaria	98-00-00
Total	180-92-60
Densidad de población (ptas. ha ⁻¹)	43,191

Para la preparación de suelo la parcela recibió un barbecho, dos rastras y surcado con tractor, realizando la siembra con sembradores manuales.

Los fertilizantes utilizados fueron Urea, Fosfato diamónico (DAP) y Cloruro de Potasio. A la siembra se aplicó Furadán 5G al suelo para el control de plagas del suelo y Gesaprim con el adherente Bionex para control de malezas.

Durante el desarrollo del cultivo se controlaron con insecticidas, la incidencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), gusano elotero (*Heliothis zea*) y Pulgón (*Rhopalosiphum maidis*).

La siembra se realizó en tierra venida, proporcionando riegos cada 20-25 días de acuerdo a las necesidades del cultivo.

Variables agronómicas consideradas en el experimento

Los datos agronómicos de las poblaciones evaluadas tanto en las parcelas de los productores (conservación *in situ*) como en el ensayo de rendimiento bajo condiciones de riego en el Rancho la Providencia del municipio de San Nicolás Buenos Aires fueron los siguientes:

- Días a floración masculina (DFM): Se contó el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50% de las espigas liberaron polen.
- Días a floración femenina (DFF): Se contó el número de días transcurrido desde la fecha de siembra hasta que el 50% de los jilotes tenían visibles los estigmas.
- Altura de planta (AP): Se midieron al azar 10 plantas desde la base de la planta hasta la inserción de la hoja bandera, se promedió y se expresó en cm.
- Altura de mazorca (AM): Se midieron al azar 10 plantas desde la base de la planta hasta el nudo de la inserción de la mazorca, se promedió y se expresó en cm.
- Calificación de mazorca (CM): Uniformidad: escala 1-5, donde: 1 mayor uniformidad, 5 mayor variabilidad.
- Índice de prolificidad (IP): Se basa en el número de mazorcas cosechadas en un número determinado de plantas dentro de una parcela y se interpola a 100 plantas.

$$IP = \frac{\text{No. de mazorcas en parcela}}{\text{No. de plantas en parcela}} \times 100$$

- Acame de raíz (AR): Se determinó contando el número de plantas que presentaron tallos inclinados respecto a la vertical con un ángulo mayor a 30°, se expresó en porcentaje de acuerdo a las plantas cosechadas en cada parcela.
- Acame de tallo (AT): Se determinó contando el número de plantas que presentaron tallos quebrados debajo del nudo donde se inserta la mazorca principal, se expresó en porcentaje de acuerdo a las plantas cosechadas en cada parcela.
- Mala cobertura (MC): Se contó el número de mazorcas en cada parcela antes de la cosecha que no cubrían bien la mazorca con el totomoxtle y se expresa en porcentaje en relación al número de plantas presentes en la parcela.
- Mazorcas podridas (MP): Se contó el número de mazorcas cosechadas que presentaban granos afectados por el efecto de algún patógeno o por el ataque de plagas, se expresó en porcentaje de acuerdo a las mazorcas cosechadas.

- *Fusarium* en mazorca (FM): Se contó el número de mazorcas cosechadas que presentaban daños causados por *Fusarium spp*, se expresó en porcentaje de acuerdo al total de mazorcas cosechadas.
- Rendimiento de mazorca (RM) y de grano (RG): El proceso para obtener el rendimiento de mazorca y grano en ton ha⁻¹ es el siguiente.

Para la estimación de rendimiento en ton ha⁻¹ al 15% de humedad tanto en las poblaciones establecidas *in situ* como en el ensayo realizado en el Rancho La Providencia del municipio de San Nicolás Buenos Aires en las que se incluyeron las 24 poblaciones, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Una vez obtenido el peso de campo (PC) de mazorcas en kg se desgrana una parte de cada una de las mazorcas y se toma una muestra de acuerdo al determinador de humedad y se mide la humedad (%).
2. Se obtiene el peso seco (PS) de las muestras para uniformizarlas, restando a uno (1) el contenido de humedad (H) y multiplicando éste por el (PC).

$$PS = (1 - H) \times PC$$

Donde:

PS= Peso seco de la muestra.

H= Contenido de humedad en base a 1.

PC= Peso de campo de la muestra.

3. El factor de corrección por fallas únicamente se aplicó para la estimación del rendimiento de las 24 poblaciones evaluadas en el Rancho la Procidencia, para lo cual se realizó un ajuste por fallas utilizando la siguiente fórmula:

$$FCF = \frac{P - 0.3(F)}{P - F}$$

Dónde:

FCF= Factor de corrección por fallas.

P= Número perfecto de plantas por parcela.

F= Número de fallas en la parcela en base al número perfecto de plantas.

0.3= Constante para corregir la falta de competencia de plantas en cosecha.

4. El rendimiento de mazorcas y grano en ton ha^{-1} al 15% de humedad, se obtuvo con la siguiente fórmula:

Para las parcelas en conservación *in situ* el rendimiento = PS x FC.

Para el ensayo en el Rancho la Providencia el rendimiento = PS x FCF x FC.

El factor de conversión (FC) se obtiene con la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{10,000\text{m}^2}{APU \times 1000 \times 0.85}$$

Dónde:

FC = Factor de conversión a ton ha^{-1} de mazorca al 15 % de humedad.

10,000 = Constante para obtener el rendimiento por ha.

APU = Área de parcela útil, derivada de la distancia entre surcos (m) por la distancia entre plantas (m) por el número perfecto de plantas.

En el caso de la evaluación *in situ* el APU se consideró una longitud de 10 metros por la distancia entre surcos correspondiente en cada parcela.

1,000 = Constante para obtener el rendimiento en toneladas.

0.850 = Constante para reportar el rendimiento al 15% de humedad.

Análisis de varianza

Para la estimación del rendimiento de mazorca y grano de las poblaciones evaluadas en las parcelas de los productores (conservación *in situ*) en el ciclo P-V 2009, se adaptó el diseño Completamente al azar con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Observación del i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

μ = Media general del carácter en estudio.

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Efecto del error experimental.

$i = 1, 2, \dots, t$ (tratamientos).

$j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones).

Para la estimación del rendimiento de mazorca en ensayo establecido en la localidad La Providencia del municipio de San Nicolás Buenos Aires en el ciclo P-V 2009, se utilizó el diseño de Bloques al azar con dos repeticiones, bajo siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observaciones de i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

μ = Media general del carácter en estudio.

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = Error experimental en la unidad j del tratamiento i .

Para verificar la eficiencia del manejo de los experimentos, se determinó el coeficiente de variación en cada una de las variables consideradas mediante la siguiente fórmula:

$$C. V. (\%) = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

\bar{x} = Media general de tratamientos.

100 = Constante para expresar el C.V. en porcentaje.

Prueba de Medias (DMS)

Para la comparación de medias de cada una de las variables, se realizó la prueba de rango múltiple diferencia mínima significativa (DMS.), mediante la siguiente fórmula:

$$DMS = t(\alpha, gl\ ee) (2CMEE/r)^{1/2}$$

Donde:

$t(\alpha, gl\ ee)$ = valor de tablas del error experimental

CMEE = cuadrado medio del error experimental

r = número de repeticiones

Para la realización de los Análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

Análisis multivariados

Los análisis de conglomerados y componentes principales se utilizaron para analizar los datos obtenidos de la caracterización morfológica de 24 poblaciones de maíz, para los cuales se consideraron 16 variables de mazorca y de grano, los datos se analizaron con el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

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

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

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

Donde:

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

X = Es el valor original a estandarizar.

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

σ = Es la desviación estándar de la variable original.

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

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

Donde $x = [x_1, x_2, \dots, x_p]$ es el vector de valores muestrales de las variables originales, y a_{ij} es el valor del j -ésimo elemento del vector característico a_1 asociado al valor característico más grande λ_1 .

En forma matricial para todos los componentes, $Y=XA$, en donde Y es la matriz de orden $n \times p$ de componentes principales; A es una matriz de orden $p \times p$ de vectores característicos y X es la matriz de orden $n \times p$ de observaciones.

La suma de cuadrados de los coeficientes a_{ij} para cada i ($j=1, 2, \dots, p$) es la unidad.

De todas las posibles combinaciones, Y_1 tiene la máxima varianza: $\text{Var}(Y_1) > \text{Var}(Y_2) > \dots > \text{Var}(Y_p)$.

Las Y no están relacionadas.

Análisis de la interacción genotipo x ambiente, método Biplot

En la aplicación de esta metodología se efectuó el siguiente procedimiento:

1. Se realizó un análisis de conglomerados utilizando la distancia euclidiana, la base de datos estuvo constituida por el número de hileras (poblaciones) y el número de columnas (ambientes); la variable que se analiza (rendimiento) debe ser previamente estandarizada. Este análisis se realiza con la finalidad de identificar grupos de poblaciones por su similitud en rendimiento en base a su interacción con el ambiente.
2. Para la inspección de la matriz conformada por poblaciones y ambientes, se utilizó la técnica multivariada conocida como Biplot (Sánchez, 1995), que tiene como base la metodología de componentes principales y presenta de manera gráfica las similitudes entre las poblaciones incluidas. El análisis Biplot del ACP se obtuvo con el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características cualitativas de las poblaciones

Las características cualitativas como tipo de grano, textura de grano y color de grano son importantes para la caracterización de las razas de maíz e influyen en el uso que se le da cada una de ellas (Figueroa *et al.*, 2013; Fernández *et al.*, 2013). En el Cuadro 5 se presentan estas características además de la forma de la mazorca que corresponden a las poblaciones en estudio.

Se puede observar que las poblaciones de la raza Cónico (1 a 6) poseen granos predominantemente de tipo semicristalino, con superficie de grano dentado exceptuando las mezclas con la raza Arrocillo (poblaciones 4 y 5) y además posee diversidad en el color de grano. Las poblaciones de la raza Chalqueño (7 a 11) presentan tipo de grano dentado, semicristalino y semiharinoso; en la forma de la superficie predomina la dentada; y en el color de grano predominó el blanco excepto en las poblaciones 10 (Chalqueño x Elotes Cónicos) y 11 (Chalqueño x Cónico). Las poblaciones de la raza Elotes Cónicos (12 a 20) se caracterizan por tener tipo de grano predominantemente semiharinoso, superficie de grano de forma dentada, con colores del grano pigmentado (rojo, azul y negro). En las poblaciones de la raza Cacahuacintle (21 a 23) se encontró tipo de grano harinoso con superficie redonda y color de grano blanco la cual se utiliza en la industria pozolera. Por último en la Mezcla Varietal se observó tipo de grano dentado con superficie puntiaguda y color de grano blanco.

Características cuantitativas medidas en las poblaciones

Las características de mazorca incluyeron las siete primeras variables y las nueve restantes comprenden características del grano (Cuadro 6), las cuales son importantes en la evaluación de poblaciones de maíz (Pardey *et al.*, 2016). Estas variables se analizan a continuación de acuerdo a la raza que pertenecen las

poblaciones.

Cuadro 5. Características cualitativas evaluadas en las poblaciones de maíz.

Población	Accesión UAAAN	Forma de la Mazorca	Tipo de Grano	Forma de la superficie	Color de Grano
1	IsP-043	Cónica	semicristalino	Dentada	rojo
2	IsP-025	Cónica	semicristalino	Dentada	amarillo
3	IsP-046	Cónica	Semidentado	Dentada	amarillo
4	IsP-039	Cónica	Dentado	Plana	blanco
5	IsP-081	Cónica	cristalino	Puntiaguda	cremoso
6	IsP-022	Cónica	semicristalino	Puntiaguda	blanco
7	IsP-008-1	Cónica	semicristalino	Puntiaguda	blanco
8	IsP-008-2	Cónica	Dentado	Dentada	blanco
9	IsP-042	Cónica	Dentado	Dentada	blanco
10	IsP-080	cilíndrica-cónica	semiharinoso	Dentada	azul
11	IsP-074-2	Cónica	semicristalino	Dentada	amarillo
12	IsP-044	Cónica	semiharinoso	Dentada	azul
13	IsP-076	cilíndrica-cónica	semiharinoso	Dentada	Negro
14	IsP-015	Cónica	semiharinoso	Dentada	Azul
15	IsP-011	Cónica	semiharinoso	Dentada	Azul
16	IsP-021	Cónica	Harinoso	Dentada	negro
17	IsP-041	Cónica	semiharinoso	Redonda	negro
18	IsP-047	Cónica	semiharinoso	Dentada	Azul
19	IsP-049	Cónica	Harinoso	Dentada	negro
20	IsP-051	Cónica	semicristalino	Dentada	Rojo
21	IsP-075	Cónica	Harinoso	Redonda	blanco
22	IsP-001	Cónica	Harinoso	Redonda	blanco
23	IsP-106	Cónica	Harinoso	Redonda	blanco
24	IsP-040	Cónica	dentado	Puntiaguda	blanco

Las primeras seis poblaciones corresponden a la raza Cónico de las cuales la población 5 (Cónico x Arrocillo) destaca por mayor N.H. (15), PM10%H (169.55 g) y PG10%H (150.82g); esta población únicamente fue superada por la 3 en las variables PM10%H (187.29g) y PG10%H (167.92g).

De las poblaciones de la raza Chalqueño (7 a 11) la 7 sobresale por tener el mayor N.H. (18.7), PM10%H (246.0 g), y PG10%H (215.0 g), otra de las poblaciones importantes es la 9 que destaca por su alto NGPH (35.10).

Dentro de las poblaciones de Elotes Cónicos (12 a 20) la 12 presentó promedios altos para PM10%H (233.29 g) y PG10%H (215.24 g), sin embargo, cabe señalar que la población 14 sobresalió por su alto NGPH (36.59) y A.G. (9.10 mm).

Cuadro 6. Promedios de 16 variables cuantitativas medidas en las poblaciones de maíz.

Población	L.M. cm	D.M. Cm	N.H.	NGPH	PM10%H g	PG10%H g	D.O. Cm	L.G. Mm
1	15.555	5.01	14.60	30.75	168.48	150.48	2.35	15.68
2	15.220	4.64	14.00	28.70	167.38	146.78	2.18	15.16
3	17.240	5.19	14.40	30.15	187.29	167.92	2.12	15.98
4	15.640	4.24	9.80	25.80	107.43	101.11	1.46	13.57
5	17.705	5.11	15.00	28.85	169.55	150.82	2.39	14.10
6	18.290	4.92	13.90	30.25	117.54	103.33	1.82	13.23
7	19.525	6.19	18.70	31.15	246.00	215.00	2.65	16.20
8	16.965	5.24	14.00	31.25	192.11	173.15	3.13	14.50
9	18.810	4.78	12.80	35.10	191.88	176.53	1.83	15.45
10	16.370	5.18	13.50	24.80	118.43	104.11	2.08	14.39
11	16.425	5.04	14.20	27.45	166.92	145.03	2.20	15.35
12	18.475	5.81	15.00	29.00	233.29	215.24	2.27	16.54
13	17.130	5.50	13.60	26.85	168.48	147.90	2.25	15.61
14	15.820	5.19	14.35	36.59	171.75	149.35	3.09	12.81
15	14.965	4.70	12.10	21.65	121.55	109.91	2.09	14.46
16	15.980	4.98	13.89	28.67	172.04	154.83	2.34	17.04
17	13.610	5.14	16.10	25.15	166.84	149.01	2.14	15.08
18	17.720	4.54	13.70	24.55	120.37	104.67	2.16	14.26
19	18.340	5.65	13.90	27.75	215.83	173.44	2.31	16.79
20	16.920	5.24	14.11	28.95	178.63	165.69	2.07	16.19
21	18.110	5.76	12.20	25.80	239.48	212.44	3.13	16.11
22	15.545	5.69	12.60	22.15	209.33	181.25	3.10	14.41
23	19.555	5.86	11.80	23.20	187.98	164.80	2.99	15.12
24	21.290	7.03	19.40	27.40	258.00	216.00	3.15	16.77

	A.G. mm	G.G. mm	AG/LG	GG/LG	GG/AG	P100G g	V100G Cc	RPV
1	7.79	4.79	0.4968	0.3052	0.6142	35.45	65.35	0.54
2	7.93	4.82	0.5229	0.3180	0.6082	39.80	62.80	0.63
3	8.08	4.85	0.5058	0.3033	0.5996	42.15	63.75	0.66
4	9.22	4.84	0.6794	0.3567	0.5249	38.97	61.10	0.64
5	7.97	5.52	0.5649	0.3911	0.6924	39.25	57.50	0.68
6	6.69	4.40	0.5055	0.3323	0.6574	28.60	41.95	0.68
7	7.62	5.05	0.4704	0.3117	0.6627	41.39	65.65	0.63
8	7.36	5.13	0.5076	0.3538	0.6970	43.25	59.40	0.73
9	7.49	4.68	0.4849	0.3027	0.6242	41.55	57.55	0.72
10	7.51	5.31	0.5219	0.3687	0.7064	31.50	57.20	0.55
11	7.96	5.44	0.5186	0.3544	0.6834	44.85	68.30	0.66
12	8.52	5.39	0.5148	0.3256	0.6324	51.70	85.65	0.60
13	8.40	5.23	0.5383	0.3348	0.6220	42.10	69.55	0.61
14	9.10	3.80	0.7104	0.2966	0.4176	32.18	49.00	0.66
15	8.68	6.11	0.6005	0.4227	0.7039	42.45	77.40	0.55
16	8.74	7.94	0.5129	0.4660	0.9085	42.22	74.28	0.57
17	7.36	5.43	0.4882	0.3599	0.7371	37.29	61.90	0.60
18	7.51	5.01	0.5266	0.3513	0.6671	29.00	49.70	0.58
19	8.83	5.86	0.5259	0.3490	0.6636	53.65	91.95	0.58
20	7.70	5.13	0.4756	0.3169	0.6662	43.32	65.89	0.66
21	12.45	9.98	0.7725	0.6195	0.8019	74.45	135.20	0.55
22	11.17	7.42	0.7754	0.5148	0.6638	67.03	125.35	0.53
23	11.44	6.81	0.7569	0.4505	0.5953	60.75	115.50	0.53
24	7.98	5.26	0.4758	0.3137	0.6591	49.30	76.95	0.64

Con respecto a las poblaciones de la raza Cacahuacintle (21 a 23), la 21 obtuvo valores más altos en las variables PM10%H (239.48 g), PG10%H (212.44 g), P100G (74.45 g) y V100G (135.2 cc).

Por último la mezcla varietal correspondiente a la población 24 destacó en las siguientes variables L.M. (21.29 cm), N.H. (19.4), PM10%H (258.0 g) y PG10%H (216.0 g), las cuales fueron las más altas en comparación con el resto de las poblaciones.

Análisis de conglomerados para la caracterización morfológica

Este análisis se basó en la agrupación de las poblaciones de acuerdo a sus similitudes en relación a las variables cuantitativas de mazorca y grano, midiendo la distancia euclidiana entre las poblaciones. Los resultados obtenidos en este análisis se presentan el Cuadro 7.

Cuadro 7. Valores de distancia euclidiana y pasos de enlace para las 24 poblaciones y 16 variables, método enlace completo.

Paso	Número de Conglomerados	Nivel de distancia	Conglomerados incorporados		Poblaciones en el Conglomerado
1	23	1.0363	3	20	2
2	22	1.5692	11	13	2
3	21	1.6027	10	18	2
4	20	1.6504	12	19	2
5	19	1.8530	3	11	4
6	18	1.9648	1	2	2
7	17	2.3969	5	8	2
8	16	2.5471	7	24	2
9	15	2.6674	1	3	6
10	14	2.9249	22	23	2
11	13	3.1766	10	15	3
12	12	3.5495	1	17	7
13	11	3.5556	5	9	3
14	10	4.3987	4	10	4
15	9	4.5283	5	6	4
16	8	4.8025	1	12	9
17	7	4.9141	21	22	3
18	6	5.2219	1	16	10
19	5	5.6073	5	14	5
20	4	7.1401	4	5	9
21	3	7.5496	1	7	12
22	2	9.6029	1	21	15
23	1	11.5053	1	4	24

En el Cuadro se observa que el punto de corte de gráfica se realizó en el paso 17 donde se forman siete conglomerados a un nivel de distancia euclidiana de 4.9141 cuando la población 21 se enlaza con la 22, al respecto Crossa *et al.* (1994) indican que el punto de corte del dendograma se basa sobre la utilidad de los grupos formados. En el dendograma de la Figura 1 se presentan las poblaciones que constituyen cada uno de los siete grupos.

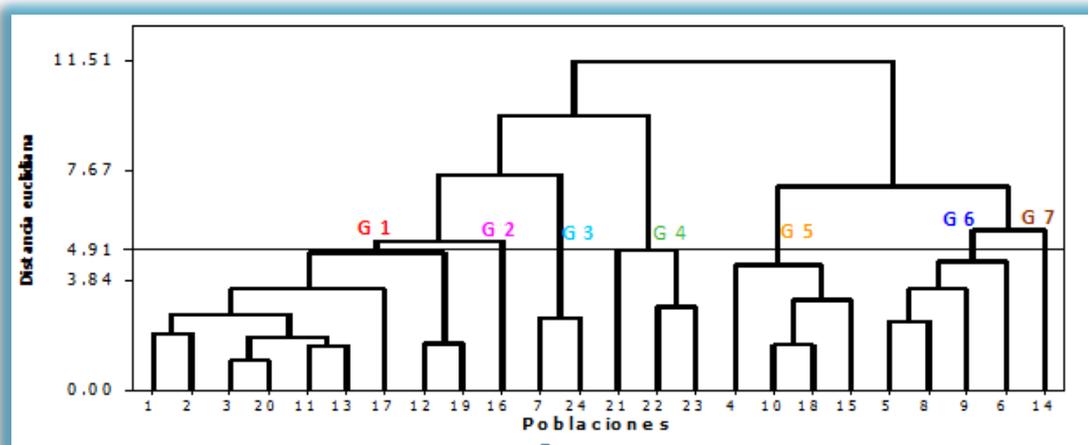


Figura 1. Dendograma para la clasificación de 24 poblaciones de maíz basada en caracteres morfológicos de mazorca y grano.

De los grupos de las poblaciones formados en el dendograma se obtuvieron los promedios de las variables que se presentan en el Cuadro 8.

Con respecto a los grupos obtenidos se observa que en el G1 predominan las poblaciones de Cónico y Elotes Cónicos, en el cual la variable N.H. promedió un valor de 14.43 siendo únicamente superada por la del G3 (19.05), para las variables PM10%H (183.68 g), PG10%H (162.39 g), P100G (43.37 g) y V100G (70.57 cc) se obtuvieron valores intermedios en comparación con los demás grupos.

El G2 incluye la población 16 (Elotes Cónicos) que destaca por su longitud de grano L.G. (17.04 mm), grosor de grano G.G. (7.94 mm) y relación GG/AG (0.91) lo que indica que su semilla es de tamaño grande V100G (74.28 cc) ocupando el segundo lugar en volumen con respecto a los demás grupos.

Cuadro 8. Medias de siete grupos formados a un nivel de distancia de 4.9141 del análisis de conglomerados para las 16 variables evaluadas.

Grupos	Poblaciones en el grupo	L.M. cm	D.M. Cm	N.H.	NGPH	PM10%H G	PG10%H G	D.O. cm	L.G. mm
G1	1, 2, 3, 20, 11, 13, 17, 12 y 19	16.55	5.25	14.43	28.31	183.68	162.39	2.21	15.82
G2	16	15.98	4.98	13.89	28.67	172.04	154.83	2.34	17.04
G3	7 y 24	20.41	6.61	19.05	29.28	252.00	215.50	2.90	16.49
G4	21, 22 y 23	17.74	5.77	12.20	23.72	212.26	186.16	3.07	15.21
G5	4, 10, 18 y 15	16.17	4.67	12.28	24.20	116.95	104.95	1.95	14.17
G6	5, 8, 9 y 6	17.94	5.01	13.93	31.36	167.77	150.96	2.29	14.32
G7	14	15.82	5.19	14.35	36.59	171.75	149.35	3.09	12.81

		A.G. mm	G.G. Mm	AG/LG	GG/LG	GG/AG	P100G G	V100G cc	RPV g/cc
G1	1, 2, 3, 20, 11, 13, 17, 12 y 19	8.06	5.21	0.51	0.33	0.65	43.37	70.57	0.62
G2	16	8.74	7.94	0.51	0.47	0.91	42.22	74.28	0.57
G3	7 y 24	7.80	5.16	0.47	0.31	0.66	45.35	71.30	0.64
G4	21, 22 y 23	11.69	8.07	0.77	0.53	0.69	67.41	125.35	0.54
G5	4, 10, 18 y 15	8.23	5.32	0.58	0.37	0.65	35.48	61.35	0.58
G6	5, 8, 9 y 6	7.38	4.93	0.52	0.34	0.67	38.16	54.10	0.70
G7	14	9.10	3.80	0.71	0.30	0.42	32.18	49.00	0.66

De los siete grupos analizados el G3 formado por las poblaciones 7 (Chalqueño) y 24 (Mezcla Varietal) destaca por presentar los promedios más altos para L.M. (20.41cm), D.M. (6.61 mm), N.H. (19.05), PM10%H (252.0 g) y PG10%H (215.5 g) estas variables se consideran como las más importantes dentro de los componentes del rendimiento (Kumar and Babu, 2015).

El G4 conformado por las poblaciones de Cacahuacintle (21,22 y 23) se distingue por poseer semilla de tamaño grande, presentando los más altos promedios para A.G. (11.69 mm), G.G. (8.07 mm), P100G (67.4 g) y V100G (125.35 cc), por el contrario su N.H. (12.2) fue el menor de todos los grupos.

En el G5 se ubican las poblaciones 4 (Cónico ocho hileras), 10 (Chalqueño x Elotes Cónicos), la 15 y 18 (Elotes Cónicos) que presentaron los más bajos promedios en D.O. (1.95 cm) y D.M. (4.67 cm) lo cual se reflejó en su bajo PM10%H (116.95 g) y PG10%H (104.9 g).

En el G6 se ubicaron dos poblaciones de Cónico x Arrocillo (5 y 6) y dos de la raza Chalqueño (8 y 9) las cuales promediaron una buena L.M. (17.94 cm), el segundo lugar en NGPH (31.36) y debido a su menor A.G. (7.38 mm) y G.G. (4.93 mm) promediaron un bajo valor de V100G (54.1 cc).

El G7 incluye la población 14 (Elote Cónico) se puede observar que destaca por su mayor promedio de NGPH (36.59) lo cual influyó a que su PM10%H (171.75g) y PG10%H (149.35 g) no fuera tan bajo, por el contrario al presentar los más bajos promedios de L.G. (12.81 mm) y G.G. (3.8 mm), los valores de P100G (32.18 g) y V100G (49.0 cc) fueron los más bajos.

Cabe señalar que dentro del número de poblaciones estudiadas, las de la raza Elotes Cónicos fueron los más altos, por lo tanto, mostraron mayor diversidad quedando distribuido dentro de los diferentes grupos estudiados.

Análisis de Componentes Principales

El análisis de Componentes Principales se realizó con la opción de matriz de correlaciones que se utiliza cuando las variables están en diferentes unidades. En el Cuadro 9 se presentan los tres primeros componentes principales con valores propios mayores a la unidad, los cuales son más relevantes debido a que aportan una mayor explicación a la variación total. Estos tres componentes explicaron el 81.4% de la variación total (proporción acumulada).

De acuerdo con los vectores propios, en el primer componente principal las variables originales más importantes (con mayor peso) son las de grano: A.G., G.G., GG/LG, P100G y V100G. En el segundo componente principal las variables con mayor influencia fueron las de mazorca: L.M., D.M., N.H., PM10%H y PG10%H. El tercer componente estuvo fuertemente influenciado por las variables: L.G., AG/LG y GG/AG.

Cuadro 9. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de 16 variables evaluadas en 24 poblaciones de maíz.

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	6.8191	4.2986	1.9108
Proporción (%)	42.6	26.9	11.9
Acumulada (%)	42.6	69.5	81.4
Variables		Vectores propios	
L.M.	0.104	0.304*	0.109
D.M.	0.230	0.327*	0.059
N.H.	-0.027	0.408*	-0.134
NGPH	-0.166	0.264	0.261
PM10%H	0.244	0.355*	0.072
PG10%H	0.237	0.348*	0.068
D.O.	0.253	0.149	0.264
L.G.	0.169	0.268	-0.385*
A.G.	0.328*	-0.173	0.230
G.G.	0.335*	-0.131	-0.210
AG/LG	0.227	-0.271	0.403*
GG/LG	0.306*	-0.232	-0.097
GG/AG	0.142	-0.016	-0.601*
P100G	0.362*	0.006	0.072
V100G	0.370*	-0.067	0.032
RPV	-0.215	0.210	0.185

* Cargas del vector propio > 0.300, indican las variables con mayor peso.

De los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales en la Figura 2 se observan los dos primeros componentes que en conjunto explican el 69.5% de la varianza total de los datos, donde los vectores de mayor longitud corresponden a las variables de mayor importancia. Con respecto a la relación entre las variables Balzarini *et al*, (2006) mencionan que los vectores con ángulos agudos indican correlaciones positivas, ángulos obtusos corresponden a correlaciones negativas y ángulos rectos indican que no hay correlación entre las variables. En el Cuadro 17 del Apéndice se presentan los valores de correlación entre las variables de mazorca y grano.

En el CP1 se observa que los vectores de las variables A.G., G.G. y V100G situadas en el lado derecho de la Figura 2 están altamente correlacionadas entre sí, esto significa que el A.G. y G.G. influyen significativa y positivamente en el V100G dando

como resultado valores de correlación altamente significativos con esta variable de $r=0.89^{**}$ y $r=0.83^{**}$, respectivamente.

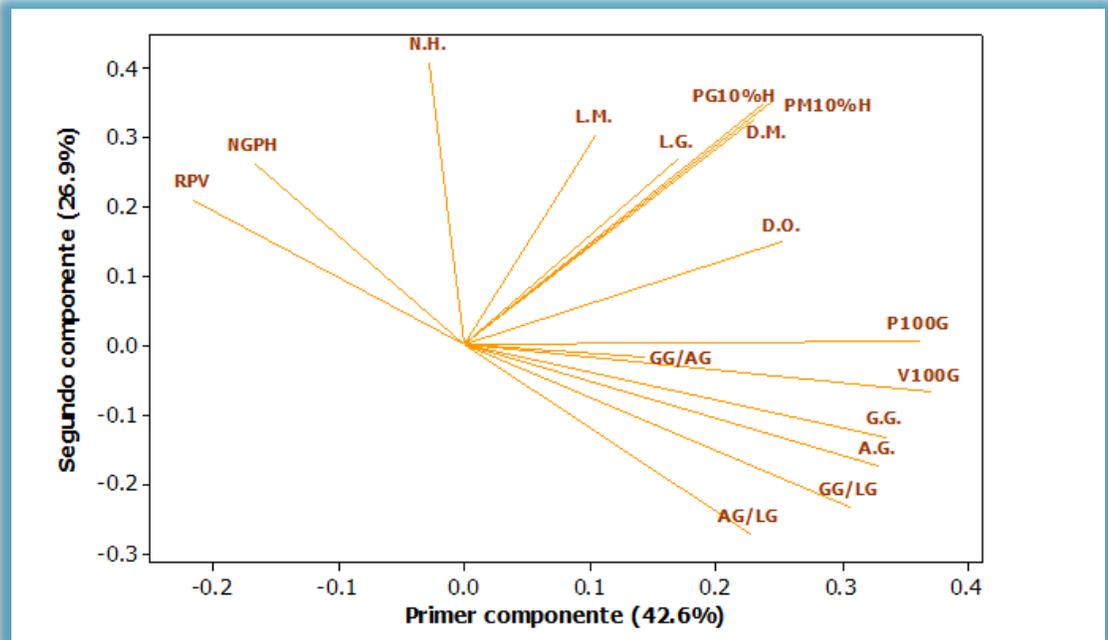


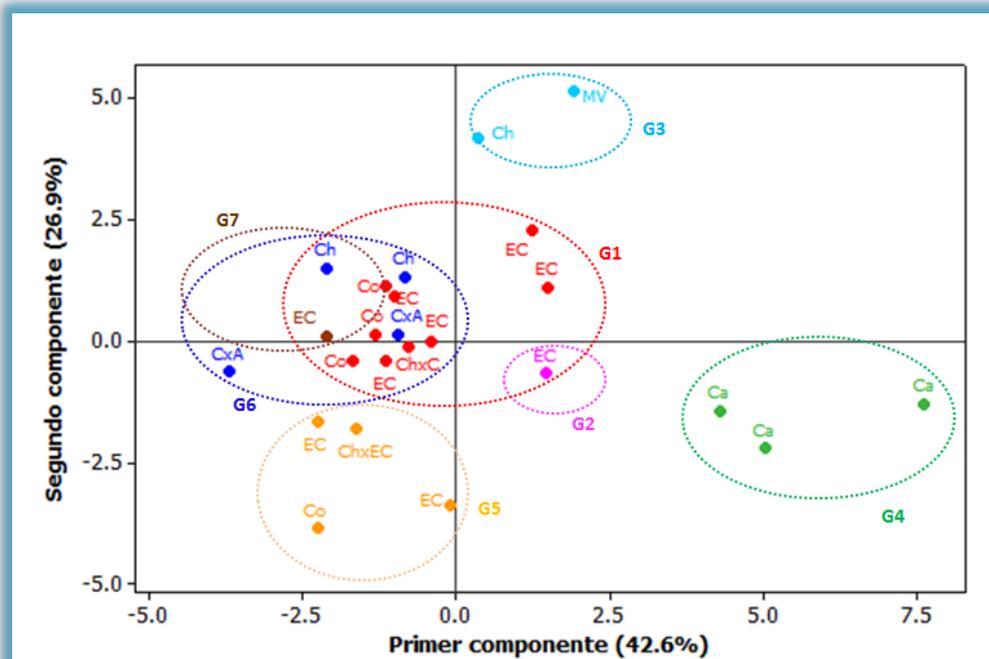
Figura 2. Distribución de 16 variables cuantitativas y su relación con el peso de los vectores sobre los dos primeros componentes.

En cuanto al CP2, se aprecia que las variables L.M., D.M. y PM10%H situadas en el lado superior de la gráfica se relacionan positivamente entre sí, notándose la influencia de L.M. y D.M. sobre el PM10%H con valores de correlación positivos y altamente significativos de $r=0.55^{**}$ y $r=0.83^{**}$, respectivamente.

En la gráfica de componentes principales de la Figura 3 se presentan los siete grupos de poblaciones de maíz y su distribución en base a los dos primeros componentes, los grupos de poblaciones se describen a continuación.

En el primer componente (CP1) se observa que en el lado derecho de la gráfica se sitúan los grupos G4 y G2, los cuales representan poblaciones con los más altos promedios de V100G con valores de 125.35 y 74.28 cc, respectivamente; aunado a esto en las poblaciones del G4 también se registraron los más altos promedios para las variables A.G. (11.69 mm) y G.G. (8.07 mm). En contraste los grupos con los más

bajos promedios de V100G se ubican en el lado izquierdo de la gráfica: G7 (49.0 cc) y G6 (54.1 cc), donde estos grupos presentaron un reducido promedio de G.G. con valores de 3.8 y 4.93 mm, respectivamente.



CxA= Cónico por Arrocillo, Ca= Cacahuacintle, Ch= Chalqueño, ChxC= Chalqueño por Cónico, ChxEC= Chalqueño por Elotes Cónico, Co= Cónico, EC= Elotes Cónicos, MV= Mezcla Varietal.

Figura 3. Agrupación de poblaciones de maíz del estado de Puebla en base a los dos primeros componentes principales.

Para el caso del segundo componente (CP2) las variables N.H. y PM10%H son las que tuvieron mayor influencia en la ubicación de los grupos, se puede observar que en el extremo superior de la gráfica se sitúa el G3 que representa a las poblaciones con el más alto promedio de N.H. (19.05) y PM10%H (252.0 g). En contraste el G5 situado en la parte inferior de la gráfica representa las poblaciones con los más bajos promedios de N.H. (12.28) y PM10%H (116.95 g).

Es importante señalar que el G3 constituido por las poblaciones 7 (Chalqueño) y 24 (Mezcla Varietal) corresponden a las poblaciones con los más altos promedios en L.M. (20.41 cm), N.H. (19.05), PM10%H (252.0 g) y PG10%H (215.5 g), por lo que se consideran materiales sobresalientes para obtener un alto rendimiento.

Rendimiento *in situ* y medias de variables agronómicas

Se efectuó un análisis de varianza para las variables rendimiento de mazorca (RM) y rendimiento de grano (RG) bajo un diseño completamente al azar. En los resultados de este análisis (Cuadro 10) las variables rendimiento de mazorca y grano presentaron diferencias estadísticas altamente significativa ($P \leq 0.01$) entre tratamientos (poblaciones) lo que era de esperarse debido a la diferencia entre grupos raciales y al origen de procedencia (ambientes diferentes). En los análisis de varianza se obtuvieron bajos coeficientes de variación para rendimiento de mazorca y grano con valores de 21.6 y 22.5%, respectivamente.

Cuadro 10. Cuadrados medios y coeficientes de variación para rendimiento de mazorca y grano de las poblaciones evaluadas *in situ*.

Fuente	GL	CMRM ¹	CMRG ²
Tratamientos	23	14.04**	10.48**
Error	48	1.41	1.17
Total	71		
C.V. (%)		21.617	22.582
\bar{X} (t ha ⁻¹)		5.493	4.790

**Alta significancia al nivel de probabilidad de 0.01; ¹CMRM=cuadrado medio de rendimiento de mazorca en Ton ha⁻¹ al 15% de humedad; ²CMRG= cuadrado medio de rendimiento de grano en Ton ha⁻¹ al 15% de humedad.

La prueba de DMS para las variables rendimiento de mazorca y grano se presentan en el Cuadro 11 en el cual también se aprecian los promedios de las demás variables agronómicas consideradas en el estudio (En el Cuadro 18 del Apéndice se presentan de una manera amplia los grupos obtenidos en la prueba DMS). En los resultados de esta prueba se observa que en el primer grupo (a) se ubicó la población 5 la cual tuvo promedios estadísticamente superiores ($P \leq 0.01$) para RM (10.501 t ha⁻¹) y RG (8.955 t ha⁻¹) observándose en esta población buena sanidad en la mazorca (FM= 0.0 %) y un buen IP con un valor de 104.6%. La segunda población en importancia es la 18 la cual presentó un RM de 8.910 t ha⁻¹ y RG de 8.011 t ha⁻¹, además de buenas características de sanidad (FM= 0.0%) y un buen IP (100.2%).

Cuadro 11. Variables agronómicas de las poblaciones evaluadas *in situ* y prueba DMS de rendimiento, medias ordenadas en relación al rendimiento de mazorca.

Pob.	DFM	DFE	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	FM (%)	MP (%)	CM ¹ (1-5)	IP (%)	RM ² (ton ha ⁻¹)	RG ³ (ton ha ⁻¹)
5	124	126	194	109	11.09	8.16	5.54	0.00	0.65	1.7	104.6	10.501 a	8.955 a
18	115	117	254	165	15.59	7.26	7.89	0.00	0.00	2.0	100.2	8.910 a	8.011 a
21	127	130	203	113	14.84	3.15	5.72	0.00	0.00	1.0	115.8	8.234 a	7.008 a
14	80	82	278	181	5.11	3.03	1.01	0.00	13.06	2.0	101.2	8.117 a	6.925 a
9	98	100	213	134	21.50	5.06	2.83	0.00	3.10	2.0	96.5	7.892 b	7.173 a
10	139	145	251	154	29.25	4.05	1.14	0.95	2.85	2.3	111.1	6.974 b	6.111 b
12	158	161	190	100	18.54	3.70	2.15	0.00	0.00	2.0	102.0	6.799 b	6.061 b
7	114	116	218	156	9.19	5.75	9.57	0.00	8.47	2.3	84.2	6.545 b	5.640 c
23	128	130	214	117	8.73	0.00	3.81	0.00	4.86	2.0	103.6	6.431 b	5.195 c
2	126	129	199	102	4.39	8.62	8.78	0.00	2.92	2.7	113.3	5.508 c	4.835 c
3	109	112	184	102	8.08	17.44	10.10	0.00	0.00	2.7	103.1	5.481 c	4.990 c
19	143	145	132	62	15.59	7.26	7.89	0.00	0.00	2.0	100.2	4.997 d	4.221 d
8	116	118	200	128	22.57	3.31	0.00	0.56	11.86	3.0	79.2	4.859 d	4.387 d
11	103	105	193	131	5.51	1.11	14.58	0.00	2.22	3.0	98.0	4.764 d	4.154 d
24	100	102	240	144	70.43	10.24	5.47	0.00	15.29	3.3	80.4	4.622 d	3.913 d
15	86	84	183	92	11.44	5.32	7.62	0.00	6.17	3.0	93.1	4.568 d	4.035 d
22	89	91	274	172	30.37	6.31	6.91	3.15	27.04	3.3	100.8	4.525 d	3.894 d
17	108	110	174	92	2.05	2.05	8.34	2.34	17.54	3.3	94.8	4.075 e	3.663 e
13	98	102	182	107	10.69	5.00	8.05	1.07	12.14	3.0	100.0	3.933 f	3.303 e
1	129	132	218	120	24.71	4.16	2.29	0.00	2.53	3.0	89.5	3.574 g	2.948 f
20	113	116	167	86	12.76	5.21	6.63	0.00	3.18	3.0	94.3	3.043 g	2.718 g
4	101	104	200	112	5.15	5.16	5.87	0.00	24.96	3.3	75.6	2.601 h	2.438 h
6	137	140	142	69	12.11	16.80	4.92	1.85	7.15	3.0	84.5	2.498 h	2.237 i
16	109	111	144	74	11.85	11.85	0.00	5.63	7.28	3.0	92.0	2.382 i	2.153 i
\bar{x}	115	117	202	118	15.90	6.26	5.72	0.65	7.22	2.6	96.6	5.493	4.790
DMS 0.01												2.602	2.369

¹ Calificación escala 1-5, donde: 1 mayor uniformidad, 5 mayor variabilidad. ²RM y ³RG = rendimiento de mazorca y grano en Ton por hectárea al 15% de humedad.

En el grupo *b* se ubicó la población 7 donde se observó un bajo IP (84.2%) y por lo tanto presentó un RM de 6.545 t ha⁻¹. La población 24 del grupo *d* también promedió un bajo IP (80.4%) además de un elevado porcentaje de AR (70.43) lo que influyó en la reducción de su RM (4.622 t ha⁻¹); estos resultados contrastan con los obtenidos en la evaluación *ex situ* donde estas dos poblaciones fueron las más sobresalientes. Con respecto al acame de raíz, Paliwall *et al.* (2001) y Pardey *et al.* (2016) señalan que los altos porcentajes en esta variable se asocian principalmente con problemas ambientales como lluvias intensas y vientos.

Por último en los grupos *h* e *i* se ubicaron las poblaciones 4, 6 y 16 en los que el rendimiento de mazorca y grano fueron los más bajos, en cuanto a su comportamiento agronómico la población 4 presentó un alto porcentaje de MP (24.96) y el más bajo IP (75.6%), y las poblaciones 6 y 16 presentaron altos porcentajes de AR y AT.

Rendimiento *ex situ* y medias de variables agronómicas

El análisis de varianza para rendimiento bajo condiciones de riego se efectuó en la localidad La Providencia, San Nicolás Buenos Aires (SNBA) bajo un diseño bloques al azar con dos repeticiones por tratamiento; en el resultado de este análisis (Cuadro 12) la variable RM no presentó diferencias estadísticas significativa ($P > 0.05$) ni para tratamientos ni para bloques. En el experimento se obtuvo un bajo coeficiente de variación para esta variable (C.V.=22.6 %) indicando buen manejo del experimento y por lo tanto que los datos son confiables.

Cuadro 12. Cuadrado medio y coeficiente de variación para rendimiento de mazorca de las poblaciones evaluadas *ex situ*.

Fuente	GL	CMRM ¹	Fc	F _{0.05}
Tratamientos	23	7.01 n.s. ²	1.611	2.016
Bloques	1	5.26 n.s.	1.210	4.028
Error	23	4.35		
Total	47			
C.V. (%)		22.65		
\bar{X} (t ha ⁻¹)		9.212		

¹CMRM=cuadrado medio de rendimiento de mazorca en Ton ha⁻¹ al 15% de humedad. ²n.s.= no hay significancia al nivel de 0.05.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el ANOVA se efectuó la comparación de medias de la DMS (En el Cuadro 18 del Apéndice se presentan de una manera amplia los grupos obtenidos en esta prueba para el rendimiento de mazorca), al respecto en el Cuadro 13 se observan los grupos formados en la prueba además de las medias de las otras variables agronómicas; en el primer grupo (a) se ubicó la población 7 presentando un promedio superior ($P \leq 0.05$) en RM= 14.212 t ha⁻¹ que el resto de las poblaciones, ésto se justifica por su alto IP (170.0%) coincidiendo con lo mencionado por Agrama (1996) y Reyes *et al.* (2017) quienes indican que en maíz el número de mazorcas por planta tiene el mayor efecto directo sobre el rendimiento. En este mismo grupo se encuentra la población 24 con un RM= 11.862 t ha⁻¹ y sobresale por tener buena sanidad (FM= 0.00% y MP= 0.00%), buena CM =1.0 y un buen IP (116.9%).

Cuadro 13. Variables agronómicas de las poblaciones evaluadas *ex situ* y prueba DMS de rendimiento, medias ordenadas en relación al rendimiento de mazorca.

Población	DFM	DFF	AP (cm)	AM (cm)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	FM (%)	MP (%)	CM ¹ (1-5)	IP (%)	RM ² (ton ha ⁻¹)
7	101	103	305	156	9.78	9.62	20.35	1.14	3.58	1.5	170.0	14.212 a
24	96	99	275	153	6.84	8.39	5.06	0.00	0.00	1.0	116.9	11.862 a
13	97	100	263	140	16.19	12.02	8.17	0.00	2.80	2.5	147.1	11.353 a
8	97	100	273	153	10.59	5.17	7.02	0.00	0.00	1.5	140.2	11.108 a
23	92	95	239	155	0.00	14.22	17.32	0.00	5.26	2.0	164.4	10.339 a
1	101	103	299	163	8.68	6.83	16.20	0.00	0.00	2.5	142.9	10.064 a
12	95	97	258	159	9.51	1.72	4.75	1.43	4.29	3.0	120.3	10.047 a
11	92	95	241	141	5.77	3.57	11.13	0.00	0.00	1.5	134.1	9.976 a
15	87	89	235	131	9.52	11.61	12.20	0.00	0.00	2.5	148.5	9.631 b
2	94	96	248	135	9.51	1.61	18.00	1.47	1.47	2.0	139.0	9.390 b
19	93	96	263	163	13.35	1.61	5.17	0.00	4.65	3.0	116.1	9.301 b
22	92	94	273	151	3.45	8.54	11.99	1.56	7.44	3.0	131.3	9.265 b
9	90	93	253	141	4.69	7.92	9.79	0.00	0.00	1.5	124.6	9.224 b
5	94	97	237	141	5.43	7.28	12.45	0.00	2.86	2.0	125.0	9.030 b
17	89	92	258	153	11.74	8.40	10.01	0.00	2.84	2.5	118.1	8.908 b
16	92	94	282	172	5.88	4.41	7.64	0.00	0.00	2.0	115.1	8.857 b
3	89	92	273	159	14.82	11.23	6.93	0.00	4.41	2.0	125.1	8.816 b
21	94	97	285	164	8.94	12.42	10.15	0.00	7.02	2.5	112.9	8.327 b
6	90	92	205	119	5.70	16.81	9.47	0.00	2.54	2.5	149.2	8.011 b
10	97	99	233	140	14.51	1.56	8.93	0.00	5.13	3.0	105.6	7.670 b
20	100	102	235	127	20.35	6.09	11.86	0.00	0.00	2.0	103.7	7.034 c
4	83	86	225	125	7.04	15.74	10.37	1.25	6.52	2.0	127.8	6.659 d
14	127	127	295	201	11.67	1.67	3.33	7.78	1.11	4.0	160.0	6.026 d
18	90	93	268	162	23.44	3.13	4.69	0.00	7.67	3.0	101.6	5.973 e
\bar{x}	94	97	259	150	9.89	7.57	10.12	0.61	2.90	2.3	130.81	9.212
DMS 0.05												4.316

¹ Calificación escala 1-5, donde: 1 mayor uniformidad, 5 mayor variabilidad. ²RM.= rendimiento de mazorca en Ton por hectárea al 15% de humedad.

Cabe mencionar que la población 5 (grupo *b*) que presentó el más alto RM *in situ* (10.501t ha⁻¹) en el ambiente *ex situ* resultó en una disminución de su RM (9.03 t ha⁻¹) y registrando además una disminución en los días a floración masculina y femenina (30 días) y por lo tanto, siendo más precoz en este ambiente.

En los grupos *d* y *e* se ubicaron las poblaciones 14 y 18 que presentaron los rendimientos más bajos; la población 18 presentó un alto porcentaje de AR (23.44%) y el más bajo IP (101.6%) y en la población 14 se observaron altos porcentajes de AR (11.67%) y mala calificación de mazorca (CM= 4.0), además esta población presentó el más alto porcentaje de *Fusarium* en Mazorca (FM= 7.78) hongo fitopatógeno que se considera de gran importancia debido a que algunas de sus especies producen micotoxinas que pueden afectar la salud humana y pecuaria (Vásquez *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2017).

Por otro lado al comparar los promedios de las variables agronómicas evaluadas en ambientes *in situ* (Cuadro 11) y *ex situ* (Cuadro 13) se observa que en el segundo ambiente hubo una disminución de aproximadamente 20 días en DFM y DFF, además de un incremento de 34.21% en el IP lo que resultó en un aumento promedio en el rendimiento de mazorca de 3.719 t ha⁻¹, indicando que con un adecuado manejo agronómico se incrementa el rendimiento en estas poblaciones.

Por otra parte en el Cuadro 13 se observa que las poblaciones 7, 24, 13, 8, 23, 1, 12, 11 y 15 superaron en rendimiento a las poblaciones 2, 22 y 16 que pertenecen al municipio de SNBA, esto significa que llevar a cabo ensayos de rendimiento en varios ambientes es una buena estrategia para identificar materiales superiores a los locales y que los productores puedan intercambiarlos o introducirlos en su localidad.

Relación entre caracterización y rendimiento *in situ* y *ex situ*

De acuerdo a los resultados de la caracterización, las poblaciones 7 y 24 pertenecientes al G3 (Figura 4) fueron las más sobresalientes en las variables de mazorca y grano. Sin embargo, en su evaluación *in situ*, estas poblaciones presentaron un bajo IP que afectó su RM, por el contrario en su evaluación *ex situ* manifestaron su potencial de rendimiento superando al resto de las poblaciones con promedios de 14.212 y 11.862 t ha⁻¹, respectivamente.

En contraste, el G5 que incluye las poblaciones 4, 10, 15 y 18 presentó los promedios más bajos para las variables PM10%H y PG10%H en la caracterización. Estos resultados también coinciden con la evaluación *ex situ* donde las poblaciones 10, 4 y 18 presentaron bajos RM con valores de 7.670, 6.659 y 5.973 t ha⁻¹, respectivamente.

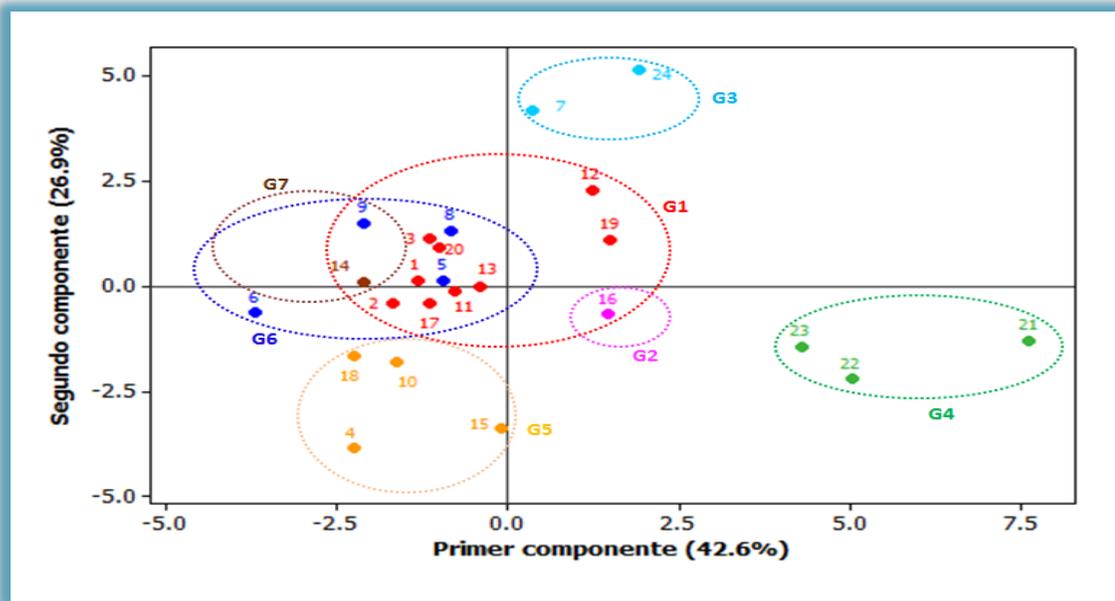
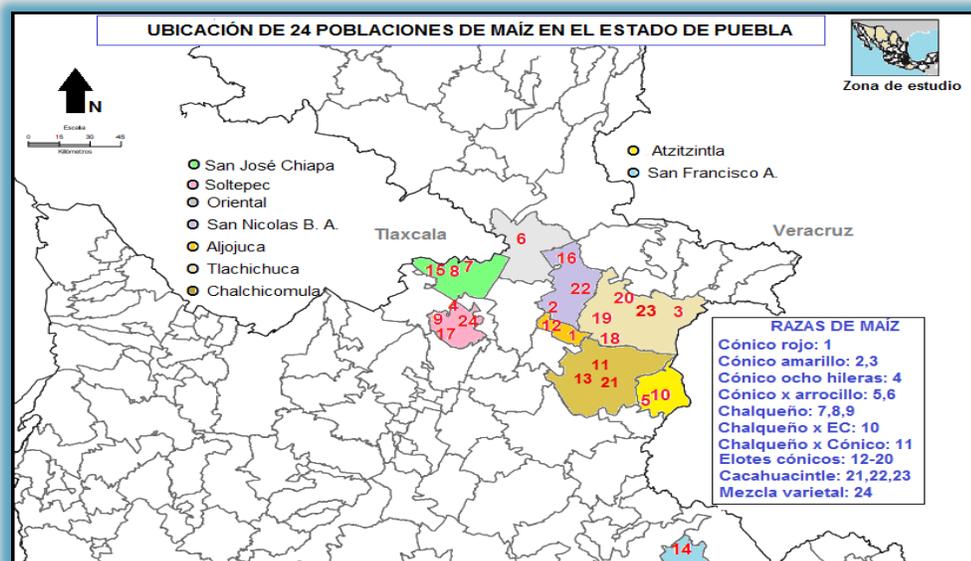


Figura 4. Agrupación de poblaciones de maíz y la relación entre caracterización y rendimiento.

Localización geográfica de las parcelas de conservación *in situ*

De acuerdo al INEGI (2006) la ubicación geográfica del estado de Puebla se sitúa entre los 17° 50' y 20° 50' de latitud norte y entre los 96° 43' y 99° 04' de longitud oeste. La ubicación de las parcelas establecidas en las diferentes localidades y municipios del estado de Puebla se presenta en la Figura 5 y Cuadro 14. En el municipio de Aljojuca se localizaron las poblaciones 1 (Cónico) a una altitud de 2481 msnm y la 12 (Elotes Cónicos) a una altitud 2532 msnm, presentando la población 12 un rendimiento de mazorca (RM) de 6.799 t ha⁻¹. En Atzitzintla se ubicaron las poblaciones 5 (Cónico x Arrocillo) y 10 (Chalqueño x Elotes Cónicos) en altitudes de 2453 y 2679 msnm, respectivamente, la población 5 tuvo el más alto RM (10.501 t ha⁻¹) *in situ* que el resto de las poblaciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Ubicación geográfica de los municipios de origen de las 24 poblaciones evaluadas.

Cuadro 14. Origen y coordenadas geográficas de los lugares de procedencia de las poblaciones de maíz utilizadas en la caracterización morfológica.

Población	Raza	Municipio	Latitud N	Longitud O	Altitud
			00°00'00"	00°00'00"	msnm
1	Cónico rojo	Aljojuca	19°07'16"	97°29'30"	2481
2	Cónico amarillo	San Nicolás Buenos Aires	19°09'52"	97°32'43"	2408
3	Cónico amarillo	Tlachichuca	19°26'56"	97°24'43"	2626
4	Cónico ocho hileras	Soltepec	19°08'02"	97°44'07"	2418
5	Cónico x Arrocillo	Atzitzintla	18°54'06"	97°19'58"	2453
6	Cónico x Arrocillo	Oriental	19°15'59"	97°31'00"	2390
7	Chalqueño	San José Chiapa	19°15'22"	97°45'37"	2373
8	Chalqueño	San José Chiapa	19°14'49"	97°44'33"	2366
9	Chalqueño	Soltepec	19°08'09"	97°45'22"	2464
10	Chalqueño x E. C.*	Atzitzintla	18°53'24"	97°18'54"	2679
11	Chalqueño x Cónico	Chalchicomula de Sesma	18°58'17"	97°26'33"	2634
12	Elotes Cónicos	Aljojuca	19°06'23"	97°30'25"	2532
13	Elotes Cónicos	Chalchicomula de Sesma	18°59'00"	97°26'05"	2615
14	Elotes Cónicos	San Francisco Altepexi	18°22'58"	97°19'35"	1314
15	Elotes Cónicos	San José Chiapa	19°16'28"	97°43'58"	2377
16	Elotes Cónicos	San Nicolás Buenos Aires	19°14'59"	97°29'40"	2408
17	Elotes Cónicos	Soltepec	19°09'06"	97°43'56"	2364
18	Elotes Cónicos	Tlachichuca	19°04'56"	97°26'13"	2630
19	Elotes Cónicos	Tlachichuca	19°09'21"	97°22'42"	2670
20	Elotes Cónicos	Tlachichuca	19°11'39"	97°23'04"	2508
21	Cacahuacintle	Chalchicomula de Sesma	18°57'58"	97°23'21"	2782
22	Cacahuacintle	San Nicolás Buenos Aires	19°10'34"	97°32'56"	2397
23	Cacahuacintle	Tlachichuca	19°04'59"	97°21'34"	2956
24	Mezcla Varietal	Soltepec	19°07'20"	97°43'18"	2475

* Chalqueño x E. C. = Chalqueño x Elotes Cónicos.

Las poblaciones 11 (Chalqueño x Elotes Cónicos), 13 (Elotes Cónicos) y 21 (Cacahuacintle) se localizaron en Chalchicomula de Sesma con un rango de altitudes de 2615-2782 msnm, destacando la población 21 por su alto RM= 8.234 t ha⁻¹. En el municipio de Oriental la población 6 (Cónico x Arrocillo) registró un bajo RM= 2.498 t ha⁻¹ y se ubicó a 2390 msnm. En San Francisco Altepexi se encuentra la población 14 (Elotes Cónicos) que promedió un RM= 8.117 t ha⁻¹, y difiere del resto de las poblaciones en altitud ya que se localizó a 1314 msnm. En San José Chiapa a un rango de altitud de 2366-2377 se ubicaron las poblaciones 7 y 8 (Chalqueños) y 15 (Elotes Cónicos), la de mayor RM fue la 7 con 6.545 t ha⁻¹.

En San Nicolás Buenos Aires se localizaron las poblaciones 2 (Cónico), 16 (Elotes Cónicos) y 22 (Cacahuacintle), a una altitud entre 2397-2408 msnm, de las cuales la población 2 tuvo mayor RM= 5.508 t ha⁻¹. Cuatro poblaciones se ubicaron en Soltepec, la 4 (Cónico Ocho Hileras), 9 (Chalqueño), 17 (Elotes Cónicos) y 24 (Mezcla Varietal) dentro de un rango de 2364-2475 msnm; de éstas destacó la población 9 por tener un RM= 7.892 t ha⁻¹. En Tlachichuca se encontraron las poblaciones: 3 (Cónico Amarillo), 18, 19 y 20 (Elotes Cónicos) y 23 (Cacahuacintle), situadas entre 2508-2956 msnm; sobresaliendo la población 18 por ocupar el segundo lugar en RM= 8.910 t ha⁻¹, en relación a todas las poblaciones.

Promedios de rendimiento de mazorca en dos ambientes

El rendimiento de mazorca (RM) de las poblaciones evaluadas (Cuadro 15) se vio fuertemente afectado por las condiciones climáticas y el manejo agronómico que se le dio en los ambientes donde se cultivaron (*in situ* y *ex situ*). En general, el rendimiento de mazorca se incrementó en el ambiente *ex situ* excepto en las poblaciones 5, 14 y 18. Las poblaciones que sobresalieron en promedio con respecto a los dos ambientes y en base a la raza que pertenecen se describen a continuación.

En las poblaciones de Cónico, sobresale la población 5 con una media de RM de 9.766 t ha⁻¹. La población 7 de la raza Chalqueño superó en RM al total de las poblaciones con una media de 10.379 t ha⁻¹. De las nueve poblaciones de Elotes

Cónicos la población 12 superó a las demás registrando una media de RM de 8.423 t ha⁻¹. En las poblaciones 21, 22 y 23 de la raza Cacahuacintle, la 23 promedió un RM de 8.385 t ha⁻¹ superando a las otras dos. Finalmente, la Mezcla Varietal (población 24) con un alto rendimiento en su evaluación *ex situ* obtuvo un promedio de RM de 8.242 t ha⁻¹.

Cuadro 15. Rendimiento de mazorca de las poblaciones evaluadas *in situ* y *ex situ*.

Población	Raza	RM <i>in situ</i> t ha ⁻¹	RM <i>ex situ</i> t ha ⁻¹	Media t ha ⁻¹
1	Cónico rojo	3.574	10.064	6.819
2	Cónico amarillo	5.508	9.390	7.449
3	Cónico amarillo	5.481	8.816	7.149
4	Cónico ocho hileras	2.601	6.659	4.630
5	Cónico x Arrocillo	10.501	9.030	9.766
6	Cónico x Arrocillo	2.498	8.011	5.255
7	Chalqueño	6.545	14.212	10.379
8	Chalqueño	4.859	11.108	7.984
9	Chalqueño	7.892	9.224	8.558
10	Chalqueño x Elotes Cónicos	6.974	7.670	7.322
11	Chalqueño x Cónico	4.764	9.976	7.370
12	Elotes Cónicos	6.799	10.047	8.423
13	Elotes Cónicos	3.933	11.353	7.643
14	Elotes Cónicos	8.117	6.026	7.072
15	Elotes Cónicos	4.568	9.631	7.100
16	Elotes Cónicos	2.382	8.857	5.620
17	Elotes Cónicos	4.075	8.908	6.492
18	Elotes Cónicos	8.910	5.973	7.442
19	Elotes Cónicos	4.997	9.301	7.149
20	Elotes Cónicos	3.043	7.034	5.039
21	Cacahuacintle	8.234	8.327	8.281
22	Cacahuacintle	4.525	9.265	6.895
23	Cacahuacintle	6.431	10.339	8.385
24	Mezcla Varietal	4.622	11.862	8.242
Media		5.493	9.212	7.352

Análisis de conglomerados para rendimiento de mazorca

En el Cuadro 16 se observan los grupos de poblaciones formados y los promedios obtenidos para las variables rendimiento de mazorca *in situ* y *ex situ*. En el análisis de conglomerados el punto de corte de la gráfica se realizó en el paso 17 donde se forman siete grupos (Cuadro 19 del Apéndice), lo cual también se aprecia en el dendograma de la Figura 8 del Apéndice.

Cuadro 16. Medias de siete grupos formados a un nivel de distancia de 1.49 del análisis de conglomerados para las dos variables de rendimiento.

Grupos	Poblaciones	RM <i>in situ</i> t ha ⁻¹	RM <i>ex situ</i> t ha ⁻¹
G1	1, 11, 15, 22, 17, 2, 19, 3, 12, 23	5.072	9.574
G2	8, 24, 13	4.471	11.441
G3	4, 20, 6, 16	2.631	7.640
G4	5	10.501	9.030
G5	9, 21, 10	7.700	8.407
G6	14, 18	8.514	6.000
G7	7	6.545	14.212

Análisis Biplot para la Interacción genotipo-ambiente

En el método Biplot para el análisis de la interacción genotipo-ambiente (Sánchez, 1995) la matriz de datos representa los efectos de la interacción genotipo-ambiente para una variable en particular, en este caso rendimiento de mazorca. Los resultados obtenidos en este análisis se describen en la Figura 6 en la cual se observa que con los dos primeros componentes principales se explica el 100% de la varianza total de los datos, donde el primer componente aportó el 55.0% de ese total. En este análisis la magnitud de la interacción con la que contribuye cada ambiente es representada por la longitud de cada vector a partir del centro del Biplot, a lo cual en el Cuadro 20 del Apéndice se puede apreciar que los dos vectores (R *in situ* y R *ex situ*) contribuyeron con la misma carga (0.707) a la interacción genotipo-ambiente.

La relación que existe entre los vectores-variables se determina por la magnitud del ángulo que se forma entre parejas de vectores (ambientes): un ángulo de 90° indica no correlación; un ángulo de 0 ó 180° indica correlación de 1 ó -1, respectivamente (Pérez *et al.*, 2014). Con esta información en la gráfica se observa que el ángulo de los dos vectores es superior a 90° y esto significa que los ambientes no son similares y se correlacionan negativamente.

En la Figura 6 se observa que el primer componente principal (CP1) se encuentra altamente relacionado con el genotipo y representa la proporción del rendimiento que

se debe sólo a las características del genotipo (Martínez *et al.*, 2016). Al respecto, en la gráfica se observa que en relación al rendimiento de mazorca (RM) de las poblaciones *in situ*, en el extremo inferior derecho de la gráfica se sitúa el G4 que representa a la población con el más alto RM (10.501 t ha^{-1}) en este ambiente contrastando con el G3 que incluye a las poblaciones con bajo RM (2.631 t ha^{-1}) localizado en el lado superior izquierdo de la gráfica. En el extremo inferior izquierdo de la gráfica se ubica el G7 que presentó el mayor RM (14.212 t ha^{-1}) en el ambiente *ex situ*, contrastando con las poblaciones del G6 que presentaron un bajo RM (6.0 t ha^{-1}) *ex situ* y se sitúan en lado superior derecho de la gráfica.

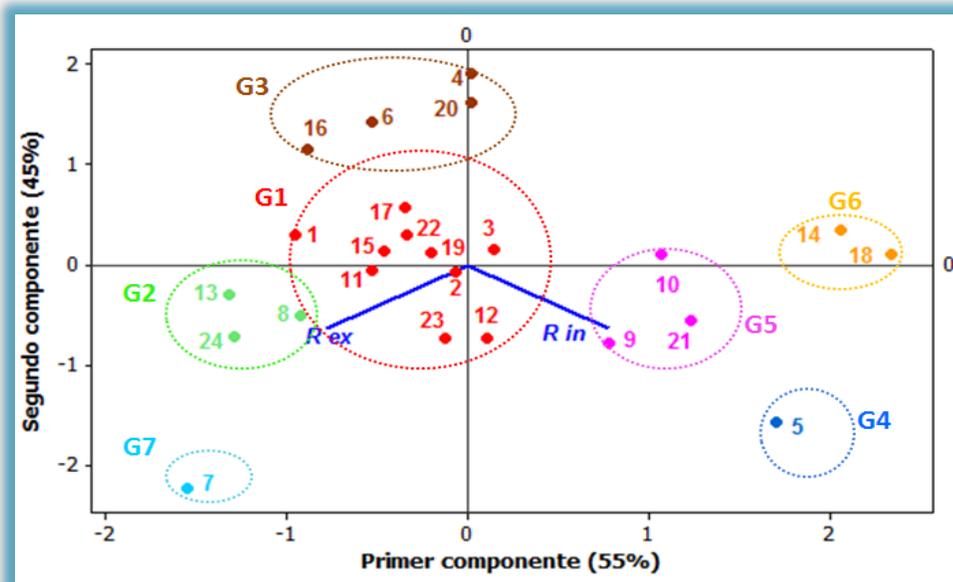


Figura 6. Representación gráfica del biplot entre los dos primeros componentes principales del análisis genotipo x ambiente.

El segundo componente (CP2) representa la parte del rendimiento debido a la interacción genotipo x ambiente, observándose que el lado inferior de la gráfica agrupó a la mayoría de las poblaciones con RM superior a la media general (7.352 t ha^{-1}). De acuerdo a la gráfica las poblaciones 7, 5 y 18 son las más inestables debido a que están más alejadas del centro del Biplot (Ligarreto *et al.*, 2015; Reyes *et al.*, 2017) y las poblaciones 9, 10 y 21 del G5 que están cercanas del origen

interaccionaron menos con el ambiente presentando promedios similares de RM en ambos ambientes ($R_{in situ} = 7.700$ y $R_{ex situ} = 8.407 \text{ t ha}^{-1}$).

Cabe destacar que las poblaciones 16, 2 y 22 pertenecientes al municipio de San Nicolás Buenos Aires incrementaron su rendimiento al cultivarlas en la misma localidad bajo condiciones de riego, densidad de siembra uniforme y fertilización superando el rendimiento obtenido en condiciones de temporal (*in situ*). Dando como resultado que con un buen manejo agronómico las poblaciones expresan un mayor potencial de rendimiento.

La información obtenida es de gran utilidad para los custodios que conservan y cultivan las razas de maíz (*in situ*) y para el programa de conservación del BNGPMM (*ex situ*) en futuros trabajos de investigación.

En el Cuadro 22 del Apéndice se presenta la relación de las poblaciones, el municipio de procedencia y el custodio que la cultiva.

CONCLUSIONES

De la información obtenida en relación con la caracterización morfológica de las poblaciones de maíz estudiadas y de su evaluación agronómica se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se observó diversidad en las poblaciones de maíz en relación al tipo y color de grano; en la raza Cacahuacintle se presentó el tipo de grano harinoso, característica que influye en su uso en la preparación del pozole; en la raza Elotes Cónicos su tipo de grano pigmentado le confiere calidad para la elaboración de tortillas azules y extracción de pigmentos; en la raza Chalqueño predominó el grano semicristalino y se le ha dado un uso en la industria de las frituras; en la raza Cónico predominó el tipo de grano semicristalino y su uso principal es en la elaboración de tortillas.
- Con respecto a los caracteres cuantitativos la población 7 (Chalqueño) destacó por presentar buena longitud de mazorca y un alto número hileras. La población 21 (Cacahuacintle) sobresalió por su tamaño de grano y presentó el valor más alto para volumen de 100 granos. La población 24 (Mezcla Varietal) promedió los más altos valores para longitud de mazorca, número de hileras y peso de mazorca y grano al 10% de humedad.
- El análisis de conglomerados (AC) detectó una gran diversidad entre las poblaciones de maíz y permitió que a una distancia euclidiana de 4.91 se identificaran siete grupos con características diferentes entre grupos y similares dentro de cada grupo.
- En el análisis de componentes principales (ACP) con los tres primeros componentes se explicó el 81.4% de la variación total de los datos. En el primer componente (CP1) las variables más importantes fueron las de grano: A.G., G.G. y V100G, las cuales están altamente correlacionadas entre sí, por lo que el A.G. y G.G. influyen positivamente en el V100G. En el segundo componente (CP2) las variables con mayor influencia fueron las de mazorca: L.M., D.M., PM10%H donde las primeras dos variables influyeron positivamente en el peso de PM10%H. Con respecto a los grupos obtenidos en el ACP, el G3 constituido por las poblaciones 7 (Chalqueño) y 24 (Mezcla

Varietal) correspondieron al grupo de poblaciones con mejores características de mazorca y grano.

- En la evaluación de rendimiento de mazorca y grano en las diferentes parcelas *in situ* el análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre poblaciones en los cuales se obtuvieron aceptables coeficientes de variación con valores de 21.6 y 22.5%, respectivamente. En la prueba DMS las poblaciones 5 y 18 fueron estadísticamente superiores ($P \leq 0.01$) para rendimiento de mazorca promediando 10.501 y 8.910 ton ha⁻¹, con valores de IP de 104.6% y 100.2% respectivamente, además de presentar buena sanidad en la mazorca ($FM = 0.0\%$) para ambas poblaciones.
- En el análisis de varianza para rendimiento de mazorca *ex situ* efectuado en San Nicolás Buenos Aires no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos y bloques. Sin embargo, al efectuar la prueba DMS (0.05) las poblaciones 7 y 24 tuvieron los más altos rendimientos de mazorca de 14.212 y 11.862 ton ha⁻¹, con un IP de 170.0 y 116.9% y baja incidencia de *FM* con valores de 1.14 y 0.00%, respectivamente. En el experimento se obtuvo un aceptable coeficiente de variación (22.6 %).
- De las 24 poblaciones estudiadas ubicadas en nueve municipios las más sobresalientes en rendimiento de mazorca fueron: la 5 (Cónico x Arrocillo) que se localiza en el municipio de Atzitzintla, la 18 (Elotes Cónicos) que se sitúa en Tlachichuca, la 21 (Cacahuacintle) de Chalchicomula de Sesma y la 14 (Elotes Cónicos) de San Francisco Altepexi.
- El modelo Biplot explicó el 100% de los efectos combinados de poblaciones y la interacción poblaciones por ambientes para el rendimiento de mazorca, lo que permite identificar las poblaciones más sobresalientes. De acuerdo a este modelo, la población 5 (Cónico x Arrocillo) y 18 (Elotes Cónicos) sobresalieron en el ambiente *in situ*, mientras que las poblaciones 7 (Chalqueño) y 24 (Mezcla Varietal) lo hicieron en el ambiente *ex situ*. Los dos ambientes fueron eficientes en la discriminación de los genotipos. Las poblaciones que presentaron un buen rendimiento de mazorca en los dos ambientes fueron la 9 (Chalqueño), 10 (Chalqueño x Elotes Cónicos) y 21 (Cacahuacintle), siendo por lo tanto las que presentan mayor estabilidad.

LITERATURA CITADA

- Agrama**, H. A. S. 1996. Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. *Plant Breed.* 115:343-346.
- Anderson**, E. and H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays* L. Their recognition and classification. *Annals of Missouri Botanical Garden.* 29:69-88.
- Aramendiz**, H., Y. Arias, D. Castro., N. Marín y A. López. 2005. Caracterización morfológica de maíces criollos del caribe colombiano. *Agronomía colombiana.* 23: 28-34.
- Balzarini**, M., A. Arroyo, C. Bruno y J. Di Rienzo. 2006. Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Bazinger**, M., G.O. Edmeades, D. Beck y M. Bellon. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México, D. F.; CIMMYT. 61p.
- Bellon**, M.R., D. Hodson and J. Hellin. 2011. Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 108:13432-13437.
- Boege**, E. 2010. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: Hacia la conservación *in situ* de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México. Pp. 24, 34, 41 y 171.
- Cabrerizo**, C. 2012. "El maíz en la alimentación Humana". Disponible en: www.infoagro.com.
- Carrera**, J.A., J. Ron, J.deJ. Sánchez, A.A. Jiménez, F. Márquez, L. Sahagún, J.deJ. Sesmas y M. Sitt. 2011. Razas de maíz de Michoacán de Ocampo: Su origen, relaciones fitogeográficas y filogenéticas. Primera edición, febrero 2011. D.R. Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán. Batalla de Casa Mata No. 66, Col. Chapultepec Sur. C.P. 58260, Morelia Michoacán, México. 150 p.

- CONABIO** (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz. Dirección de Economía Ambiental, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Junio. Pp. 10-12.
- CONABIO**, (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2010. Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F.
- CONABIO**, (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2011. Base de datos del proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. México, D. F.
- Crossa**, J., S. Taba, S.A. Eberhart, and P. Bretting. 1994. Practical considerations for maintaining germplasm in maize. *Theor Appl Genet.* 89: 89-95.
- Cuadras**, M.C. 2018. Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC editions. Barcelona. Pp 13.
- Dallas**, E.J. 2004. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Kansas State University. Edamsa Impresiones, S.A. México. 566 p.
- Defacio**, R.A., S.J. Bramardi. y M. Ferrer. 2009. Evaluación de poblaciones locales de maíz de la raza cristalino colorado a través de datos morfológicos de mazorca y grano. *Revista Análisis de Semillas.* Argentina. 2: 72-75.
- Federer**, W., E. McCulloch, and J. Milles McDermont. 1987. Illustrative examples of Principal Components. *Journal of Sensory Studies.* 2; p. 37-57.
- Fernández**, L., J. Crossa, Z. Fundora-Mayor, A.L. Castiñeiras, G. Gálvez, M. García, y C. Giraudy. 2010. Identificación y caracterización de razas de maíz en sistemas campesinos tradicionales de dos áreas rurales de Cuba. *Revista Biociencias.* 1: 4-8.
- Fernández**, R., L.A. Morales y A. Gálvez. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: una revisión indispensable. *Rev. Fltotec. Mex.* 36:275-283.

- Figuroa**, J.D., D.E. Narváez, A. Mauricio, S. Taba, M. Gaytán, J.J. Véles, F. Rincón y F. Aragón. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Rev. Fitotec. Méx.* 36: 305-314.
- Franco** T.L., y R. Hidalgo. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico no. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- González**, H.A., C.J. Sahagún, D.J. Pérez L., L.A. Domínguez, C.R. Serrato, F.V. Landeros y C.E. Dorantes. 2006. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:255-261.
- Hernández**, G.P. 2016. Evaluación agronómica de razas de maíz de la región norte de Puebla. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Hernández**, J.M. 2010. Proyecto FZ016 “Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Segunda etapa 2008-2009”. Informe final del Estado de México y D. F. INIFAP, Campo Experimental Valle de México. 17 p.
- Hernández**, X.E. y G. Alanís. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México- implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.
- Hortelano**, R.R., M.A. Gil, V.A. Santacruz, S.H. López, P.A. López y C.S. Miranda. 2012. Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:97-109.
- IBPGR**. 1991. Descriptores para maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Roma, Italia. 88 p.
- ICAMEX**, (Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México). 2010. Variedades experimentales de maíz Cacahuacintle VC-1. Gobierno del Estado de México, Secretaría de Desarrollo.
- INAFED**, 2010. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Centro Nacional de Estudios Municipales de la Secretaría de Gobernación. Gobierno del estado de Puebla.

- INEGI**, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2006. Anuario de estadísticas por entidad federativa. INEGI, México. 286 p.
- INEGI**, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007. Anuario Estadístico de Puebla. Tomo II. INEGI; Aguascalientes, Ags. 1284 p.
- INEGI**, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Anuario de Estadística por Entidad Federativa. INEGI-Aguascalientes, Ags. México. 594 p.
- INEGI**, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2014. Encuesta Nacional Agropecuaria ENA-2014. 40 p.
- Johnson**, E.D. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores S.A de C. V. New York, U.S.A. Pp. 3 – 4.
- Kuleshov** N. N. 1981. Maíces de México, Guatemala, Cuba, Panamá, y Colombia. *In: Las Plantas Cultivadas de México, Guatemala y Colombia*. S. M. Bukasov (ed). Trad. al español por J. León, de la trad. inglesa de M. H. Byleveld. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp: 40-53.
- Kumar**, P. and D.R. Babu. 2015. Character association and path analysis of grain yield and yield components in maize (*Zea Mays* L.). *Journal of Plant Breeding*. 6: 550-554.
- Lazos**, E. y M. Chauvet. 2011. Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México. Proyecto global de maíces nativos. Informe de Gestión. CONABIO. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo9_Analisis_Especialistas/Lazos%20y%20Chauvet%202011.pdf (mayo 2013).
- Ligarreto**, G.A., O.A. Castro y B. Cháves. 2015. Estabilidad fenotípica de una colección de frijol andino (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo arbustivo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 18: 109 – 118.
- Luna**, F.M., S. García, J. Martínez, M.G. Luna, A. Lara, F. Villagrana, F.J. Cedeño, J.J. Llamas y J.J. Avelar. 2015. Variedades mejoradas de maíz de secano derivadas de variedades nativas tolerantes a sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6: 1455-1466.

- Macuri, E.R.** 2016. Estudio de la diversidad fenotípica del maíz (*Zea mays* L.) en la sierra baja y media del Perú. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 107 p.
- Martinez, J., N. Espinosa, y Y. Villegas.** 2016. Interacción genotipo-ambiente en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 3: 38-484.
- Martínez, S., L.M. Vásquez, J.L. Herrera, M. C. Vega, A. Muñoz.** 2017. Hongos fitopatógenos potencialmente micotoxigénicos en poblaciones de maíces en los estados de México y Tlaxcala. Suplemento de la *Revista Mexicana de Fitopatología*. Volumen 35, p. 111.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M.M. Goodman, G.J. Sánchez, E. Buckler and J. Doebley.** 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 99:6080-6084.
- McClintock, B., T.A. Kato & A. Blumenschein.** 1981. Chromosome constitution of the races of maize, its significance in the interpretation of relationship between races and varieties in the Americas. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados.
- Minitab, Inc.** 2009. Minitab Statistical Software, Versión 16 para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.
- Muñoz, O.A.** 2003. Centli-Maíz. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México. 211 p.
- Muñoz, O.A.** 2005. Centli-Maíz. 2ª ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 211 p.
- Niculcar, R., K. Latorre y O.J. Vidal.** 2015. Conservación *ex situ* de plantas en el banco de germoplasma SAG-Magallanes: una herramienta para la Restauración Ecológica. *Anales Instituto Patagonia* (Chile). 43:109-113.
- Núñez, C.A. y L.D. Escobedo.** 2011. Uso correcto del análisis cluster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*. México. 22:415-427.
- Núñez, C.A. y L.D. Escobedo.** 2015. Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agrícola y Pecuaria*. 1:1-6.

- Ortega, C. A., M.J. Guerrero H., O. Cota A. y R.E. Preciado O.** 2011. Situación actual de los maíces nativos y sus parientes silvestres en México. In: Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México. R. E. Preciado, S. Montes (eds). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, Estado de México, México. pp:15-41.
- Ospina, J.G.** 2015. "Manual Técnico del Cultivo de Maíz Bajo Buenas Prácticas Agrícolas". Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. Antioquia, Colombia. 150 p.
- Paliwall, R.L., G. Granados, H.R. Lafitte, A.D. Violec.** 2001. El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Pardey, C., M. A. García y N. Moreno.** 2016. Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria, Mosquera (Colombia). 17: 167-190.
- Perales, R.H. y D. Golicher.** 2011. Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad. Informe técnico preparado para la CONABIO. ECOSUR. Chiapas. México. 108 p.
- Pérez, D. de J., A. González, O. Franco, M. Rubí, J.F. Ramírez, A. Castañeda y J.G. Aquino.** 2014. Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el Estado de México, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5: 265-278.
- Preciado, R.E., y S. Montes.** 2011. Reseña del libro "Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México". Rev. Fitotec. Mex. 34, Núm. 4. 2 p.
- Reyes, C.A., M.A. Cantú, H.R. Gill, J.G. García y N. Mayek.** 2017. Interacción genotipo ambiente en maíz cultivado en Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8: 571-582.
- Reynoso, C.A., A. González, D. de J. Pérez, O. Franco, J.L. Torres, G.A. Velázquez, C. Breton, A. Balbuena y O. Mercado.** 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5: 871-882.

- Rocandio**, M., A. Santacruz, L. Córdova, H. López, F. Castillo, R. Lobato, J.J. García y R. Ortega. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los valles altos de México.
- SAGARPA-SIAP**. 2012. ¿De dónde viene nuestra comida? La agricultura, ganadería y pesca en México y el Mundo. Distrito Federal, México. 45-48 pp.
- SAGARPA-SIAP**. 2014. Producción agropecuaria y pesquera. Disponible en: www.siap.gob.mx/agricultura/.
- Sánchez**, G. J. J., M. M. Goodman and J. O. Rawling. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47:44-59.
- Sánchez**, J.J. 1995. El análisis Biplot en la clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18: 188-203.
- Sánchez**, J.J., M.M. Goodman and C.W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43–59.
- SNICS-CP**. 2009. Manual Gráfico para la Descripción Varietal de maíz (*Zea maíz L.*), servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) – Colegio de Postgraduados (CP), SAGARPA. 118 p.
- SNICS-SAGARPA**. 2009. Guía Técnica para la Descripción Varietal. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, pesca y alimentación (SAGARPA). 32 p.
- Toledo**, M.A., J. Arcanjo, C. Torres, L.L. Nass, y F.C. da Rocha. 2006. Mejoramiento participativo en maíz: su contribución en el empoderamiento comunitario en el municipio de Muqui, Brasil. *Agron. Mesoam.*17:393-405.
- Turiján**, T., M.A. Damián, B. Ramírez., J.P. Juárez y N. Estrella. 2012. Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 3:1085-1110.
- Turrent**, A., T.A. Wise, y E. Garvey. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mex. Rural Develop. Res. Rep.* 24:1-36.

- Vásquez, L.M., J.L. Herrera, M. C. Vega, A. Muñoz, S. Martínez.** 2016. Incidencia de hongos potencialmente micotoxigénicos en poblaciones de maíces mexicanos del altiplano de México. Suplemento de la Revista Mexicana de Fitopatología. Volumen 34, p. 91.
- Vázquez, M.G., J.P. Pérez, J.M. Hernández, M.L. Marrufo y E. Martínez.** 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del mezquital, México. Rev. Fitotec. Mex. 33:49-56.
- Vicente, J.** 2006. Introducción al análisis de clúster. Departamento de Estadística. Universidad de Salamanca. 22 p. Disponible en internet: <http://biplot.usal.es/ALUMNOS/CIENCIAS/2ESTADISTICA/MULTIVAR/>
- Vigouroux, Y., J. C. Glaubitz, Y. Matsuoka, M. M. Goodman, J. Sánchez, and J. Doebley.** 2008. Population structure and genetic diversity of new world maize races assessed by DNA microsatellites. American Journal of Botany 95:1240-1253.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts y E. Hernández X.** 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto técnico Núm. 5. México D. F.

APÉNDICE

Fotografías de las 24 poblaciones de maíz consideradas en el estudio



Pob. 1: Cónico rojo



Pob. 2: Cónico amarillo



Pob. 3: Cónico amarillo



Pob. 4: Cónico ocho hileras



Pob. 5: Cónico x Arrocillo



Pob. 6: Cónico x Arrocillo



Pob. 7: Chalqueño



Pob. 8: Chalqueño



Pob. 9: Chalqueño



Pob. 10: Chalqueño x ¹E.C.



Pob. 11: Chalqueño x ²C.



Pob. 12: Elotes Cónicos



Pob. 13: Elotes Cónicos



Pob. 14: Elotes Cónicos



Pob. 15: Elotes Cónicos



Pob. 16: Elotes Cónicos



Pob. 17: Elotes Cónicos



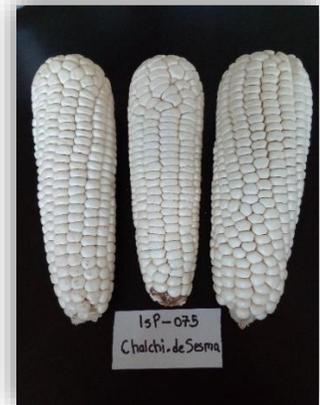
Pob. 18: Elotes Cónicos



Pob. 19: Elotes Cónicos



Pob. 20: Elotes Cónicos



Pob. 21: Cacahuacintle



Pob. 22: Cacahuacintle



Pob. 23: Cacahuacintle



Pob. 24: Mezcla varietal

1sP = Colección de germoplasma del estado de Puebla. ¹E.C.= Elotes Cónicos y ²C.=Cónico

Fuente: fotografías tomadas por Juan Hernández Ruíz

Figura 7. Morfología de mazorca de las 24 poblaciones de maíz bajo estudio.

Cuadro 17. Valores de correlación fenotípica entre las variables consideradas en el análisis de componentes principales.

Variable	L.M.	D.M.	N.H.	NGPH	M10%H	G10%H	D.O.	L.G.
D.M.	0.657**							
N.H.	0.378	0.626**						
NGPH	0.179	-0.038	0.307					
M10%H	0.556**	0.833**	0.538**	0.208				
G10%H	0.526**	0.785**	0.501*	0.239	0.988**			
D.O.	0.296	0.683**	0.302	0.008	0.647**	0.608**		
L.G.	0.363	0.521**	0.397	-0.012	0.668**	0.667**	0.122	
A.G.	0.060	0.271	-0.453*	-0.408*	0.321	0.314	0.514*	0.076
G.G.	0.035	0.256	-0.267	-0.503*	0.331	0.333	0.406*	0.367
AG/LG	-0.109	0.032	-0.582**	-0.353	0.014	0.008	0.432*	-0.371
GG/LG	-0.082	0.111	-0.420*	-0.569**	0.134	0.136	0.395	0.056
GG/AG	-0.034	0.089	0.100	-0.357	0.120	0.128	0.044	0.472*
P100G	0.268	0.532**	-0.173	-0.370	0.654**	0.649**	0.556**	0.428*
V100G	0.172	0.480*	-0.240	-0.507*	0.535**	0.520**	0.536**	0.375
RPV	0.189	-0.151	0.228	0.690**	0.016	0.051	-0.182	-0.193

Variable	A.G.	G.G.	AG/LG	GG/LG	GG/AG	P100G	V100G
G.G.	0.767**						
AG/LG	0.895**	0.526**					
GG/LG	0.801**	0.948**	0.693**				
GG/AG	0.040	0.668**	-0.206	0.553**			
P100G	0.838**	0.784**	0.581**	0.713**	0.245		
V100G	0.893**	0.835**	0.655**	0.786**	0.271	0.964**	
RPV	-0.568**	-0.570**	-0.437*	-0.558**	-0.260	-0.388	-0.610**

*Significativo al 0.05 de probabilidad ≥ 0.404 ; **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad ≥ 0.515 .

Cuadro 18. Prueba de medias (DMS) para las variables rendimiento de mazorca y grano al 15% de humedad en ambientes *in situ* y *ex situ*.

Rendimiento <i>in situ</i> (Ton ha ⁻¹)						Rendimiento <i>ex situ</i> (Ton ha ⁻¹)		
Mazorca			Grano			Mazorca		
Poblaciones	Media*	Grupos	Poblaciones	Media*	Grupos	Poblaciones	Media*	Grupos
5	10.501	a	5	8.955	a	7	14.212	a
18	8.910	ab	18	8.011	ab	24	11.862	ab
21	8.234	ab	9	7.143	abc	13	11.353	ab
14	8.117	ab	21	7.008	abc	8	11.108	abc
9	7.892	bc	14	6.925	abc	23	11.339	abcd
10	6.974	bcd	10	6.111	bcd	1	10.064	abcde
12	6.799	bcd	12	6.061	bcd	12	10.047	abcde
7	6.545	bcde	7	5.640	cde	11	9.976	abcde
23	6.431	bcdef	23	5.195	cdef	15	9.631	bcde
2	5.508	cdefg	3	4.990	cdefg	2	9.390	bcde
3	5.481	cdefg	2	4.835	cdefgh	19	9.301	bcde
19	4.997	defgh	8	4.387	defghi	22	9.265	bcde
8	4.859	defghi	19	4.221	defghi	9	9.224	bcde
11	4.764	defghi	11	4.154	defghi	5	9.030	bcde
24	4.622	defghi	15	4.035	defghi	17	8.908	bcde
15	4.568	defghi	24	3.913	defghi	16	8.857	bcde
22	4.525	defghi	22	3.894	defghi	3	8.816	bcde
17	4.075	efghi	17	3.663	efghi	21	8.327	bcde
13	3.933	fghi	13	3.303	efghi	6	8.011	bcde
1	3.574	ghi	1	2.948	fghi	10	7.670	bcde
20	3.043	ghi	20	2.718	ghi	20	7.034	cde
4	2.601	hi	4	2.438	hi	4	6.659	de
6	2.498	hi	6	2.237	i	14	6.026	de
16	2.382	i	16	2.153	i	18	5.937	e
DMS0.01 = 2.602			DMS0.01 = 2.369			DMS0.05 = 4.316		

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes a los niveles de (P < 0.05) y (P < 0.01).

Cuadro 19. Valores de distancia euclidiana para 24 poblaciones de maíz y rendimiento de mazorca en dos ambientes, método de enlace completo.

Paso	Número de conglomerados	Nivel de distancia	Conglomerados incorporados		Poblaciones en el conglomerado
1	23	0.196	15	22	2
2	22	0.230	12	23	2
3	21	0.240	2	19	2
4	20	0.286	4	20	2
5	19	0.342	2	3	3
6	18	0.367	14	18	2
7	17	0.395	11	15	3
8	16	0.417	8	24	2
9	15	0.447	8	13	3
10	14	0.455	6	16	2
11	13	0.504	9	21	2
12	12	0.612	1	11	4
13	11	0.659	1	17	5
14	10	0.924	2	12	5
15	9	0.932	9	10	3
16	8	1.178	4	6	4
17	7	1.490	1	2	10
18	6	1.674	1	8	13
19	5	1.784	5	9	4
20	4	1.946	5	14	6
21	3	2.931	1	4	17
22	2	3.864	1	5	23
23	1	4.534	1	7	24

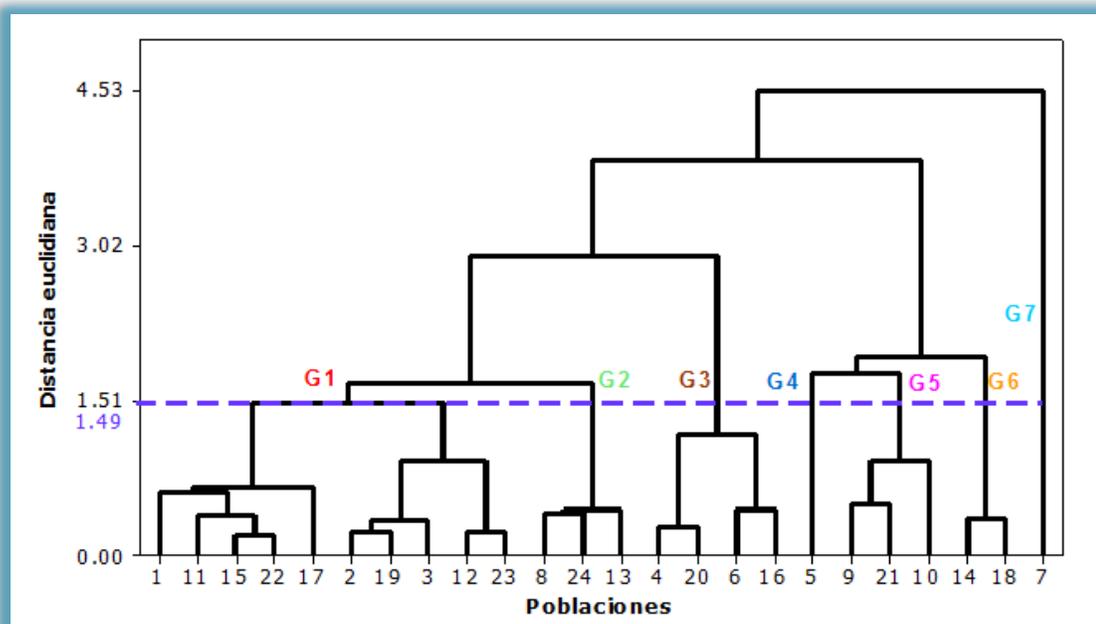


Figura 8. Dendrograma para la clasificación de 24 poblaciones de maíz basados en variables de rendimiento de mazorca *in situ* y *ex situ*.

Cuadro 20. Valor y vectores propios para los dos primeros componentes principales de las variables de rendimiento de mazorca *in situ* y *ex situ*.

	CP1	CP2
Valor propio	1.099	0.900
Proporción (%)	55.0	45.0
Acumulada (%)	55.0	100.0
Variables	Vectores propios	
R <i>in situ</i>	0.707*	-0.707*
R <i>ex situ</i>	-0.707*	-0.707*

* Cargas del vector propio > 0.300, indican las variables con mayor peso.

Cuadro 21. Densidades de población estimadas al momento de cosecha en las parcelas de evaluación *in situ*.

Población	Clave UAAAN	Razas	Densidad de Pob. Plantas ha ⁻¹
1	IsP-043	Cónico rojo	59, 524
2	IsP-025	Cónico amarillo	40, 000
3	IsP-046	Cónico amarillo	37,083
4	IsP-039	Cónico ocho hileras	42, 276
5	IsP-081	Cónico x Arrocillo	64, 286
6	IsP-022	Cónico x Arrocillo	43, 667
7	IsP-008-1	Chalqueño	41, 429
8	IsP-008-2	Chalqueño	48, 330
9	IsP-042	Chalqueño	33, 750
10	IsP-080	Chalqueño x Elotes Cónicos	31, 250
11	IsP-074-2	Chalqueño x Cónico	41, 250
12	IsP-044	Elotes Cónicos	45, 714
13	IsP-076	Elotes Cónicos	65, 333
14	IsP-015	Elotes Cónicos	37, 083
15	IsP-011	Elotes Cónicos	60, 000
16	IsP-021	Elotes Cónicos	33, 333
17	IsP-041	Elotes Cónicos	39, 837
18	IsP-047	Elotes Cónicos	40, 000
19	IsP-049	Elotes Cónicos	35, 833
20	IsP-051	Elotes Cónicos	36, 471
21	IsP-075	Cacahuacintle	28, 095
22	IsP-001	Cacahuacintle	60, 476
23	IsP-106	Cacahuacintle	31, 260
24	IsP-040	Mezcla Varietal	31, 707

Cuadro 22. Relación de Poblaciones, custodios y municipios de origen de las razas de maíz.

Población	Clave UAAAN	Razas	Custodio	Municipio
1	IsP-043	Cónico rojo	Rodolfo Medina Estévez	Aljojuca
2	IsP-025	Cónico amarillo	José Luis Isidro Isidro	S.N.B.A. ²
3	IsP-046	Cónico amarillo	Matías G. Carrillo Ibáñez	Tlachichuca
4	IsP-039	Cónico ocho hileras	Elías Gaspar López	Soltepec
5	IsP-081	Cónico x Arrocillo	Juan Vián Sandoval	Atzitzintla
6	IsP-022	Cónico x Arrocillo	Jaime de Andrés Vieyra	Oriental
7	IsP-008-1	Chalqueño	Eduardo Nabor Ávila	San José Chiapa
8	IsP-008-2	Chalqueño	J. Fernando Nabor Serrano	San José Chiapa
9	IsP-042	Chalqueño	Felipe Ortiz Galicia	Soltepec
10	IsP-080	Chalqueño x E.C. ¹	J. Salvador Vega Macario	Atzitzintla
11	IsP-074-2	Chalqueño x Cónico	Genovevo Zacula González	Chalchi. de Sesma ³
12	IsP-044	Elotes Cónicos	Vicente Medina Estévez	Aljojuca
13	IsP-076	Elotes Cónicos	Rogelio Zacula Pérez	Chalchi. de Sesma
14	IsP-015	Elotes Cónicos	Rafael Saavedra Avelino	San Francisco A. ⁴
15	IsP-011	Elotes Cónicos	Martín A. Pérez Campos	San José Chiapa
16	IsP-021	Elotes Cónicos	Noé Sánchez Luna	S.N.B.A.
17	IsP-041	Elotes Cónicos	Francisco Aguilar Ruíz	Soltepec
18	IsP-047	Elotes Cónicos	Ezequiel P. Juárez Altamirano	Tlachichuca
19	IsP-049	Elotes Cónicos	Flores Reyes Minero	Tlachichuca
20	IsP-051	Elotes Cónicos	Raymundo Solano del Carmen	Tlachichuca
21	IsP-075	Cacahuacintle	Bonifacio Alonso Leal	Chalchi. de Sesma
22	IsP-001	Cacahuacintle	Carlos Espinoza Escalona	S.N.B.A.
23	IsP-106	Cacahuacintle	Tomás Sánchez Islas	Tlachichuca
24	IsP-040	Mezcla Varietal	Everardo Mauricio Medina	Soltepec

¹Elotes Cónicos; ²San Nicolás Buenos Aires; ³Chalchicomula de Sesma; ⁴San Francisco Altepexi.