



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

DENSIDAD DE SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN EN SEIS VARIEDADES  
DE MAÍZ EVALUADAS EN TONATICO, MÉXICO

**TESIS**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO  
AGRÓNOMO FITOTECNISTA PRESENTA:

**ERICK DELGADO DOMÍNGUEZ**

ASESORES:

DR. ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA

DRA. DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ

EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, AGOSTO DEL 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres

Primeramente doy gracias a dios por permitirme llegar a la meta deseada.

Por el valioso apoyo que siempre me brindaron durante mi carrera profesional.

A ti papa

Por la fe la confianza que siempre me brindaste y todo el esfuerzo que hiciste durante toda mi carrera para yo poder culminar mi carrera.

A ti mama

Que con tus oraciones y sabios consejos me has guiado siempre hacia adelante.

A ustedes hermanos

Por el apoyo moral que durante mis estudios me brindaron en el logro de un importante objetivo de mi vida.

A mi esposa e hija

Por brindarme todo el cariño y apoyo que recordaré siempre como ejemplo de lucha y superación.

Los quiero mucho.

## **DEDICATORIAS**

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

### **Papá y Mamá**

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño esta tesis se las dedico a ustedes.

### **Mi familia**

Le agradezco a toda mi familia por todo el apoyo brindado.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>AGREDECIMIENTOS</b>	i
<b>DEDICATORIAS</b>	ii
<b>INDICE GENERAL</b>	iii
<b>INDICE DE CUADROS</b>	v
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	v
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>I.INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II REVISION DE LITERATURA</b>	4
2.1 Cultivo del maíz	4
2.1.1 Origen	4
2.1.2 Descripción botánica	5
2.2 Factores que limitan la producción de maíz	6
2.2.1 Climáticos	6
2.2.2 Humedad	6
2.2.3 Latitud y altitud	7
2.2.4 Fotoperiodo	7
2.2.5 Factores edafológicos	7
2.2.6 Factores genéticos	7
2.3 Uso de fertilizantes químicos	8
2.3.1 Fertilización en maíz	8
2.3.2 Macronutrientes	9
2.3.3 Nitrógeno	10
2.3.4 Fósforo	11

2.3.5 Potasio	12
2.3.6 Factores que afectan el aprovechamiento de los fertilizantes	13
2.4 Densidad de siembra	14
2.4.1 Densidad de plantas	15
2.4.2 Ejemplo	16
2.4.3 Algunos logros sobresalientes sobre la tecnología de producción	17
<b>III MATERIALES Y METODOS</b>	19
3.1 Descripción del sitio experimental	19
3.2 Material genético	19
3.3 Factores de estudio	20
3.4 Diseño y tamaño de las unidades experimentales	20
3.5 Manejo agronómico del experimento	23
3.6 Variables registradas	24
3.7 Análisis estadístico	25
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	27
<b>V CONCLUSIONES</b>	38
<b>VI BIBLIOGRAFIA</b>	39

## INDICE DE CUADROS

	Página
1 Cuadros medios y significancia estadística de los valores de F	29
2 Comparación de medias para fertilización inorgánica (Factor A; Tukey= 0.05)	30
3 Comparación de medias para densidades de población (Factor B; Tukey=0.05)	31
4 Comparación de medias para variedades de maíz (Factor C; Tukey =0.05)	32
5 Análisis de correlación lineal simple	33

## INDICE DE FIGURAS

	Página
1 Croquis en campo de las parcelas experimentales	21
2 Localización del experimento	22
3 Interrelaciones entre híbridos de maíz y variables agronómicas. Análisis de componentes principales	37

## RESUMEN

Este estudio se hizo en Tonalico, estado de México, en primavera-verano del 2013 en condiciones de temporal para analizar el efecto de la fertilización inorgánica y de la densidad de población en híbridos de maíz. El experimento se estableció en campo en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo de parcelas subdivididas: en las parcelas grande, mediana y chica se alojaron las fórmulas de fertilización, las densidades de población y los cultivares, respectivamente. La parcela chica constó de tres surcos distanciados a 0.80 m y de 6.0 m de longitud, pero la hilera central de cada una de éstas fue la unidad experimental útil. Cada una de las variables evaluadas fue sometida a un análisis de varianza, a la comparación de medias de cada uno de los tres factores con la prueba de Tukey al nivel de significancia del 5 % y a un análisis de correlación lineal simple. Adicionalmente se realizó un análisis de componentes principales para estudiar las interrelaciones entre los cultivares y variables evaluadas; con los componentes principales 1 y 2 se elaboró el biplot usando los datos que se generaron con el Sistema para Análisis Estadístico (SAS, versión 6.03 para Windows), construyendo la base de datos y la figura en Microsoft Excel versión 1997-2003. Los resultados más sobresalientes se muestran a continuación. La fertilización inorgánica (Factor A) sólo afectó significativamente a los pesos de mazorca y de grano por mazorca. La densidad de población (Factor B) originó diferencias estadísticas en longitud, diámetro, y pesos de olote y de grano por mazorca al variar de 60 000 a 100000 plantas ha<sup>-1</sup>, además de lo anterior, se detectaron efectos significativos sobre el peso de mazorca y en su circunferencia. Los componentes principales 1 (51.74%) y 2 (24.60%) explicaron el 76.34 % de la variación total original. En el biplot se verificaron correlaciones positivas y significativas entre peso de grano por mazorca y el resto de las variables, excepto con las alturas de la planta y de la mazorca,

donde la asociación fue negativa y significativa. La superioridad de CERESXR92 con relación al resto de los cultivares se explica por el hecho de que éste tuvo las mayores dimensiones en longitud, diámetro y pesos de grano y de mazorca.

**Palabras clave:** *Zea mays* L, maíces del estado de México, rendimiento y componentes del rendimiento, análisis de componentes principales.



## ABSTRACT

This study was carried out in Tonatico, State of Mexico, in spring-summer of 2013, under rainfed conditions to analyze the effect of inorganic fertilization and population density on grain yield and grain yield components in maize hybrids. The experiment was conducted in the field conditions in a randomized complete block design with three replications in a split split plot arrangement: fertilization formulas, population densities and maize cultivars were allocated in the main, subplot and sub subplot, respectively. The sub subplot consisted of three rows spaced at 0.80 m and 6.0 m in length, but the central row of each of these was the useful experimental unit. Each of the evaluated traits was subjected to an analysis of variance, to the comparison of means of each of the three factors with the Tukey test at the 5% level of significance and to a simple linear correlation analysis. In addition, a principal component analysis was performed to study the interrelationship between the cultivars and characteristics evaluated; with the principal components 1 and 2 the biplot was elaborated using the data that was generated with the Statistical Analysis System (SAS, version 6.03 for Windows), building the database and figure in Microsoft Excel version 1997-2003. The most outstanding results shown that inorganic fertilization (Factor A) only significantly affected ear and grain weight. Population density (Factor B) caused statistical differences in length, diameter, and weights of cob and grain per ear ranging from 60,000 to 100,000 plants ha<sup>-1</sup>, in addition to the above, significant effects were detected on the weight of cob and on its circumference. The principal components 1 (51.74%) and 2 (24.60%) explained 76.34% of the original total variation. In the biplot, positive and significant correlations between grain weight per ear and the rest of the variables were verified, except for the plant and ear height where the association was negative and significant. The superiority of CERESXR92 in relation to the all rest of the cultivars is explained by the fact that it had the largest dimensions in length, diameter and grain and ear weight.

**Keywords:** *Zea mays* L, corn of State of Mexico, grain yield and grain yield components, principal component analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el maíz (*Zea mays L.*) ocupa el tercer lugar entre todos los cultivos que son la fuente básica de la alimentación humana, siendo los países más importantes Estados Unidos, Brasil y México. En México, de toda la superficie agrícola cultivable, el 53 % se dedica a este cultivo, sembrándose un 20% en condiciones de riego (INEGI, 1994). El 75% de la población nacional rural y el 50% de la población urbana, contempla al maíz como cultivo básico en su dieta alimenticia. Por tal motivo ahora más que nunca se reconoce la importancia de un adecuado suministro de elementos nutritivos a las plantas, para mantener su nivel óptimo de producción. Los agricultores están continuamente luchando para vencer las deficiencias nutricionales en los cultivos, ya que las capacidades de producción de las plantas cultivadas se están aproximando al límite de sus posibilidades genéticas. Como consecuencia de este esfuerzo, en México, al igual que en otros países, se ha observado un gran progreso en la tecnología de los fertilizantes y en el empleo de los elementos nutritivos de las plantas y de la química del suelo; todo esto ha conducido a un mejor conocimiento de las interrelaciones entre la fertilización y la densidad de siembra, y sus efectos directos e indirectos sobre el rendimiento de los cultivos.

Existen factores de producción agrícola muy importantes que pueden aumentar o disminuir el rendimiento, como diferentes dosificaciones de fertilizantes, diferentes densidades de siembra y la variedad que se utilice, por lo que es necesario definir su mejor manejo para su adecuada explotación y que en el futuro permita alcanzar mayores rendimientos por hectárea (Reyes, 1990).

En varios países, un 50 % de los incrementos que se han obtenido en la producción de grano en maíz se han atribuido principalmente al eficiente mejoramiento genético y a mejores prácticas agronómicas. Los cuatro cambios tecnológicos más importantes que han ocurrido en la

agricultura en los últimos 70 años son el incremento en la densidad de población, el uso de más fertilizantes inorgánicos, la aplicación de métodos de control de maleza más eficientes, y la identificación y empleo de localidades donde se pueda adelantar la siembra para el establecimiento de híbridos de mayor ciclo biológico (Duvick *et al.*, 2004; Tollenaar y Lee, 2011).

El presente trabajo es pertinente debido a que en Tonatico, Estado de México, México, se desconoce la variedad que tenga una mejor adaptación a las condiciones ambientales y que responda favorablemente al incremento en la aplicación de dosis mayores en fertilización inorgánica y densidad de siembra. En teoría se espera que una mayor densidad de siembra requiera de una mayor fertilización, por existir una mayor competencia entre plantas. Las altas densidades de siembra y una baja fertilización origina menos rendimiento de grano, pero existen cultivares que toleran mejor la competencia en densidades de siembra altas (Duvick *et al.*, 2004; Tollenaar y Lee, 2011). Se pretende beneficiar a los agricultores de esta región para que mejoren su proceso productivo mediante el manejo eficiente de híbridos, fórmulas de fertilización y densidades de siembra adecuadas, debido a que actualmente este cultivo está retomando auge; en las décadas pasadas las parcelas productivas no eran redituables, por lo que es necesario identificar algunos de los factores tecnológicos que permitan incrementar los ingresos económicos de los agricultores.

En el contexto anterior, los objetivos principales del presente estudio fueron determinar, en las condiciones de temporal predominantes en la Localidad de La Vega, Municipio de Tonatico, Estado de México, que híbrido produce el mayor rendimiento de grano en tres densidades de siembra y dos formulas de fertilización, y analizar las interrelaciones entre el rendimiento de grano por planta y sus componentes del rendimiento en seis híbridos de maíz. La hipótesis que permitirá contestar las preguntas relacionadas con los objetivos anteriores se estableció de la siguiente manera: las seis variedades de maíz responden favorablemente al incremento en la

densidad de siembra y en la fertilización inorgánica. El mejor híbrido de maíz está relacionado con la combinación del mayor nivel de fertilización y la mayor densidad de siembra.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Cultivo del maíz

#### 2.1.1. Origen

La palabra maíz (*Zea mays L.*) proviene de una lengua del Caribe, los españoles tomaron el vocablo de un dialecto de Haití (Reyes, 1990).

Otra teoría sostiene que el maíz fue domesticado de manera independiente en la región Andina en Sudamérica, por los ancestros de los incas, y que los exploradores Europeos de América la llevaron a Europa y los comerciantes posteriormente lo trasladaron a África y Asia.

Lo que sí es seguro es que el maíz es una planta americana que procede de la mutación del teocintle (*Zea mays* spp. mexicana), una gramínea silvestre con la que puede cruzarse fácilmente (ASERCA, 1997).

En los cultivos de cereales, el maíz ocupa el tercer lugar después del trigo (*Triticum aestivum L.*) y el arroz (*Oriza sativa L.*) y constituye uno de los recursos más relevantes en toda la historia de la humanidad; el grano posee diversas intensidades de color como blanco, rojo, amarillo, negro, morado, etc. (ASERCA, 1997; Tanaka y Yamaguchi, 1984).

En todo el mundo el cultivo de maíz es el más ampliamente sembrado en cuanto a los cereales se refiere; su gran diversidad en la distribución de su producción es un indicador de su excelente capacidad para adaptarse a muchos ambientes, desde el nivel del mar hasta más de 3000 m (ASERCA, 1997).

Su importancia sobresale en todos los órdenes de la vida humana, desde el punto de vista cultural, científico, tecnológico, social, económico y político; el promedio para los países

industrializados es de 6.2 t ha<sup>-1</sup> comparado con las 2.5 t ha<sup>-1</sup> que se obtiene en los países en desarrollo, como México.

### 2.1.2. Descripción botánica

En Reyes (1990) se presenta la siguiente descripción:

Reino:	Vegetal
División:	Tracheophyta
Clase:	Angiosperma
Subclase:	Monocotiledonea
Orden:	Graminales
Familia:	Graminae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Zea mays</i>

El maíz es un cereal que tiene múltiples clasificaciones: planta monoica, con flores unisexuales y alógama, con un sistema radicular bien definido, al germinar emergen las raíces temporales o embriones que nacen en el primer nudo: las raíces permanentes nacen en el segundo nudo y las raíces adventicias emergen de los nudos basales de las plantas; el tallo es una caña formada por entrenudos y nudos macizos de longitud variable, gruesos en la base y más delgados en lo superior. Generalmente las hojas envuelven al entrenudo y cubren la yema floral, su lámina es de tamaño variable a lo largo y a lo ancho, nervaduras centrales bien definidas, las partes posteriores o envés son lisas y sin vellosidades, de color verde, su distribución es alterna a lo largo del tallo (Mejía, 1991).

En el maíz, las flores que producen los granos de polen, en donde está el gameto masculino, se localiza en la inflorescencia terminal llamada panícula. Las flores pistiladas se localizan en las

yemas florales que emergen de las axilas de las hojas y que durante el proceso de su desarrollo se denomina yema floral pistilada, jilote, elote o mazorca. El fruto o grano del maíz biológicamente es un ovario desarrollado y la semilla es un óvulo fecundado, desarrollado y maduro (Reyes, 1990).

## **2.2. Factores que limitan la producción de maíz**

### **2.2.1. Climáticos**

La reproducción sexual de la especie ha permitido a los agricultores y fitomejoradores formar muchas variedades en tiempo y espacio. Para el desarrollo del cultivo se requiere de tiempo caluroso en el día y fresco en la noche. El cultivo tiene problemas cuando la temperatura promedio es inferior a 18°C en el día y 12°C en la noche. A nivel general hay una mayor producción en los climas en donde la temperatura varía entre 21 y 27°C y donde existe un periodo libre de heladas en un ciclo agrícola variable de 120 a 180 días (Reyes, 1990; Tanaka y Yamaguchi, 1984).

### **2.2.2. Humedad**

El agua es el principal componente del clima que limita el crecimiento de las plantas; es un importante constituyente del protoplasma al formar el 85-95% de su peso fresco. Cuando el contenido de agua decrece la actividad fisiológica se abate. Es el solvente en el cual las sales y los gases entran a las plantas y los solutos se mueven dentro de sus células. En los Valles Altos del Centro de México son necesarios entre 800 y 1000 mm de precipitación pluvial para obtener rendimientos de grano entre 5.0 y 7.0 t ha<sup>-1</sup> (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2007).

Es esencial para mantener la turgencia necesaria para el crecimiento celular y mantener la forma y posición de las estructuras de las plantas (Tanaka y Yamaguchi, 1984).



### **2.2.3. Latitud y altitud**

Estas dos condiciones geográficas afectan la temperatura anual, que disminuye medio grado por cada 111 km y 111 m que se aleja del Ecuador, estas medidas corresponden a un grado geográfico; similarmente ocurre en las variaciones debidas a la latitud, ya que la temperatura media anual disminuye medio grado por cada 100 m de elevación sobre el nivel del mar (Tanaka y Yamaguchi, 1984).

### **2.2.4. Fotoperiodo**

La duración del día, o duración del tiempo diario en que los organismos están expuestos a la captación de la luz está altamente influenciada por la latitud. El fotoperiodo tiene influencia en el crecimiento vegetativo, formación de flores, semillas y frutos, extensión de las ramificaciones, formas de las hojas, formación de pigmentos, pubescencias, desarrollo radicular y muerte de la planta (Tanaka y Yamaguchi, 1984).

### **2.2.5. Edafológicos**

Hay gran variación en suelos en donde se puede cultivar maíz, desde los pedregosos, arenosos, con fuertes pendientes, infértiles y manejo complicado, hasta los fértiles y fáciles de mecanización. Los suelos que permiten obtener altos rendimientos son los que cuentan con adecuado drenaje, fértiles, de fácil manejo, bien aireado, profundo, de textura franca, arcillosos, rojizos, ricos en materia orgánica y con pH de 6 a 7.

### **2.2.6. Genéticos**

Los indígenas domesticaron al maíz mediante la selección visual, contribuyendo relativamente a la formación de variedades y razas. Los agricultores las han utilizado por siglos y los científicos las han estudiado y clasificado para su conservación, mantenimiento, mejoramiento, y

distribución a nivel mundial. En la actualidad la disponibilidad de los recursos genéticos, humanos y económicos es muy importante y permite desarrollar plantas cuya estructura, para condiciones específicas, les permita aprovechar más y mejor el potencial en su habitat (Jugenheiner, 1981).

En los Valles Altos del Centro de México las razas Cónico y Chalqueño son la de mayor producción de grano; con la siembra de sus variedades de polinización libre se pueden obtener hasta 6.5 t ha<sup>-1</sup>, mientras que con híbridos se han producido hasta 9.0 t ha<sup>-1</sup> (González *et al.*, 2007).

### **2.3. Uso de los fertilizantes químicos**

Por lo general los fertilizantes inorgánicos son compuestos simples, hechos en fábricas o extraídos de las minas, que proveen nutrientes a las plantas y no son residuos de materia viviente animal o vegetal. En la mayoría de los países, el término “fertilizante inorgánico” se aplica a materiales que proporcionan nitrógeno, fósforo y potasio. A veces se incluye en ellos a los que proveen calcio y, con menos frecuencia, los de magnesio. Sin embargo, todos los nutrientes esenciales de las plantas (principales y menores) que se agreguen al suelo para beneficio de los cultivos, son fertilizantes (Tisdale, 1996).

#### **2.3.1. Fertilización del maíz**

La eficacia de la fertilización exige que como resultado de la misma el cultivo disponga de los elementos nutritivos en cantidad suficiente en la zona en que se desarrollan las raíces y en cada momento a lo largo de su ciclo de cultivo, previo a la madurez fisiológica del grano. Esto no necesariamente tiene que coincidir con las frases de máxima absorción de elementos nutritivos a pesar de que ocurre así en muchos casos. Sin embargo, la época de aplicación depende de otros factores, como el tipo de elemento nutritivo, debido a su comportamiento en el suelo, el

tipo de fertilizante, la disponibilidad de humedad, el pH, las condiciones del suelo y el método de distribución, entre otros (Domínguez, 1987).

Aun cuando depende del tipo de variedad, el maíz tiene grandes necesidades nutrimentales, durante la floración y formación del grano, desde la semana de aparición de las inflorescencias masculinas hasta cuatro o cinco semanas después; en este periodo crítico el maíz absorbe 2/3 partes de fósforo y 3/4 del nitrógeno que necesita en su totalidad; la absorción de potasio se presenta durante todo el periodo vegetativo (Gross, 1976).

Si se aplica todo el abono antes o al momento de la siembra la planta absorbe rápida y eficazmente sus nutrientes (Selke, 1968). Puede suponerse que la planta consumirá excesivamente, si dispone abundantes cantidades de materias nutritivas (Selke, 1968). Sin embargo, el problema consiste en identificar las dosis óptimas que favorezcan el crecimiento vegetativo y, particularmente, la producción de un mayor rendimiento de grano (Alcibar *et al.*, 1999).

En la determinación de la naturaleza del suelo, así como de los límites geográficos en que pueden establecerse ciertos cultivos, los factores climáticos y el agua ejercen influencia sobre el uso de los fertilizantes (Poey, 1978).

Las cifras utilizadas por la planta no pueden ser consideradas como iguales a las cantidades de fertilizantes por aplicar, dado que una parte de los abonos se pierde en el suelo antes de llegar a la raíz vegetal. De modo que se tendrá que aplicar una dosis de fertilizante mayor que las cantidades de nutrientes requeridos por las plantas (Muñoz, 1983).

### **2.3.2. Macronutrientes**

Éstos también se denominan nutrientes primarios, porque normalmente la tierra no puede suministrarlos en cantidades relativamente altas para el desarrollo sustentable de la planta; las

cantidades de los seis nutrientes esenciales de las plantas, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y azufre, son absorbidos por los cultivos en cantidades que llegan a kilos o decenas de kilos por hectárea, en comparación con los gramos por hectárea que se requieren de micronutrientes.

### **2.3.3. Nitrógeno**

Entre los diversos elementos nutritivos que se aplican al suelo, el nitrógeno es uno de los constituyentes principales de la materia viva y es indispensable en el protoplasma de las plantas, animales y microorganismos ( Dominguez,1987; Bartolini,1989).

El nitrógeno se incorpora al suelo por los procesos naturales, como la fijación de nitrógeno atmosférico mediante bacterias, que forman nódulos en las plantas leguminosas. La lluvia contiene una cantidad muy pequeña de nitrato, formado por la acción de los rayos solares sobre el nitrógeno y oxígeno del aire (Bryans, 1987).

La fuente final del nitrógeno utilizado por las plantas es el gas inerte  $N_2$  que constituya aproximadamente el 78% de la atmósfera terrestre, pero en esta forma elemental no es utilizado por las plantas superiores.

Los caminos principales por lo que el nitrógeno se transforma a formas utilizables por las plantas superiores son los siguientes:

1. Fijación por Rhizobium y otros microorganismos que viven simbióticamente en las raíces de las leguminosas.
2. Fijación por microorganismos que viven libremente en el suelo.
3. Fijación, como alguno de los óxidos de nitrógeno, por las descargas eléctricas de la atmósfera.

4. Fijación como amoníaco,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{CN}_2$ , por algún proceso industrial para la fabricación de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Tisdale, 1996).

La mayor parte del nitrógeno del suelo está contenida en la materia orgánica fresca o húmeda, siendo asimilada por los vegetales en forma de iones de nitrato de amonio. Se considera que el nitrógeno es un elemento deficiente en el suelo, ya que generalmente existe en éste en pequeñas cantidades y es removido en grandes cantidades por los cultivos, además de perderse con facilidad por lixiviación, erosión y volatilización. Aumentar la dosis de nitrógeno, y en menor grado la de fósforo y potasio, garantizará el desarrollo precoz de una eficaz cubierta de hojas; cuando más tiempo se mantenga la superficie foliar resultante mayor será la cantidad total de materia seca producida por el cultivo (Simpson, 1991).

#### **2.3.4. Fósforo**

El ácido fosfórico es uno de los principales elementos de fertilización y el fósforo que contiene es indispensable para la vida. Se encuentra en todos los tejidos donde se desempeñan diversas funciones: como sal mineral en los tejidos vegetales, fosfatos presentes en las hojas de las gramíneas, en múltiples compuestos orgánicos. El fósforo es esencial ya que estimula la pronta formación de raíces y el crecimiento, les da rápido y vigoroso comienzo a las plantas, acelera la maduración, estimula la lozanía y ayuda a la formación de semilla y le da vigor a los granos sembrados en otoño (Bartolini, 1989; Willard, 1988).

La fertilización fosforada tiene como misión reconstruir o subir las reservas del suelo, así como contribuir directamente a la buena nutrición de las plantas.

El fósforo no se mueve en el agua y se vuelve insoluble en el suelo si no existen las características físicas y químicas adecuadas o otros elementos que lo disuelvan eficientemente.

Se considera que el fósforo no se lixivia en el suelo y cuando es aplicado se va acumulando si no es utilizado. Las plantas pueden alimentarse con estos residuos acumulados y no tienen que depender del fosfato fresco producido por la descomposición de la materia orgánica. La mayoría de los suelos tienen reservas considerables de fosfato inorgánico producto de su acumulación durante varios años de la aplicación de los fertilizantes. Las deficiencias principales de este elemento que presentan los cultivos son las siguientes: hojas, ramas y tallos púrpuras, madurez y desarrollo lento, pequeños tallos delgados en el caso del maíz, carencia de germinación en granos pequeños, y bajo rendimiento de granos, frutos y semillas.

La cantidad de fósforo presente en los tejidos de las plantas vivas es aproximadamente una décima parte de la del nitrógeno. En los primeros estadios del crecimiento vegetativo es de gran importancia que las plantas encuentren en el suelo cantidades suficientes de fósforo en forma fácilmente asimilable; sus necesidades de fósforo son máximas en esa primera etapa.

### **2.3.5. Potasio**

Los cultivos absorben gran cantidad de potasio durante la etapa inicial de crecimiento y en suelos ricos esto puede ser considerablemente más de lo que el cultivo requiere. Este consumo abundante es una desventaja cuando se cosecha el cultivo en estado verde, como en crucíferas o hortalizas (Bryans, 1987).

En fertilizantes, se establece en forma de potasa ( $K_2O$ ), en donde las funciones principales de este elemento son: imparte a las plantas gran vigor y resistencia a las enfermedades, coadyuva en la producción de proteína, aumenta el tamaño de grano y de semilla, es esencial para la formación y desplazamiento de almidones, azúcares y aceites, mejora la calidad de los frutos, ayuda al desarrollo de los tubérculos y auxilia en la formación de la antocianina (color rojo del fruto).

El potasio en el suelo se encuentra disponible en la solución del mismo y es absorbido en la superficie del complejo arcillo- húmico.

Dado el conjunto de estas dos formas puede ser utilizado por las raíces, en forma de potasio cambiante o asimilable. Fijado en el interior de la estructura de las arcillas, en forma no cambiante o que se libera muy lentamente a medida que el suelo se empobrece en potasio intercambiable. Es por estas razones que este elemento es uno de los principales en el desarrollo de las plantas (Bartolini, 1989).

Una deficiencia en potasio conlleva a que las hojas se veteen, se manchen, se rayen o se enrollen, comenzando por los niveles más bajos.

Las hojas más bajas se tuestan y se queman en las orillas y en las puntas; estas zonas muertas pueden caerse y dejar bordes rasgados en las hojas. En el maíz, los cereales y los pastos, el quemado de la hoja empieza en las puntas y avanza de las orillas hacia dentro. Generalmente, la vena central queda verde.

Algunas plantas, como el maíz, degeneran antes de madurar, debido a un desarrollo pobre de las raíces.

El potasio prolonga las etapas de crecimiento de las plantas, favorece la resistencia a determinadas plagas y enfermedades, y estimula notablemente el crecimiento de las leguminosas (Bartolini, 1989).

### **2.3.6. Factores que afectan el aprovechamiento de los fertilizantes**

Para decidir sobre la fórmula de fertilización, se tiene que tomar en cuenta la sequía que eventualmente puede ocurrir en zonas húmedas, la mala germinación, las malezas, las plagas, y los precios que puedan reducir la rentabilidad de la fertilización, entre otros. La aplicación

fraccionada y adecuada a las necesidades reales del cultivo, da resultados muy superiores a un plan de fertilización establecido *a priori* a base de consideraciones teóricas, que raramente se cumplen, por lo que la fertilidad actual del suelo varía continuamente, en función de muchos factores, en gran parte imprevisibles. El maíz es un cultivo muy rendidor y con la fertilización adecuada puede tener rendimientos muy altos, máxime cuando no hay sequía, pero la aplicación de los fertilizantes debe adecuarse a las necesidades reales del cultivo, que varía mucho de caso a caso y no se puede saber *a priori*. En el contexto anterior influyen los siguientes factores, más o menos directamente: genotipo, humedad, temperatura, suministro de N, P, K, S, Mo, Fe, y Cu, luz y madurez de la planta (Worthem y Aldrich, 1980).

#### **2.4. Densidad de siembra**

Hay preguntas que los productores hacen constantemente, cómo ¿qué densidad de siembra se recomienda? ¿cuánta semilla por hectárea debo sembrar?

Ante estas inquietudes, debe darse una respuesta aplicable a la producción de grano y forraje. (La producción de elote y hoja para tamal pueden requerir densidades especiales, preferentemente más bajas).

En el presente estudio lo que está buscándose es una mayor producción de grano por planta en función de la densidad de siembra y la fertilización inorgánica aplicadas en seis híbridos de maíz.

Las condiciones agroecológicas, los manejos agronómicos, los paquetes tecnológicos y los tipos de maíz sembrados en México son extremadamente diversos, por lo que no existe una única recomendación para todos los productores. Sin embargo, es posible hacer algunas consideraciones generales que ayuden a que cada productor tome la mejor decisión (Lafitte, 1993).



Desde la siembra del cultivo de maíz inevitablemente se pierden semillas o plántulas, asociadas a la pobre germinación, falta de vigor, falta de humedad en el suelo, preparación deficiente de la cama de siembra, piedras y encostramientos, plagas y enfermedades, sembradora defectuosa, inexperiencia del operador durante las escardas, entre otras. El porcentaje de pérdida es muy variable, pero los datos presentados por Lafitte (1993) sugieren que esta corresponde al menos a un 20%. Así debe aumentarse la densidad de siembra en la misma proporción en la que se espera tener pérdidas de semilla o plántula. Es decir, para 80000 plantas ha<sup>-1</sup> deben sembrarse 100000 semillas. En condiciones de emergencia difíciles, como en trigo o cebada (*Hordeum vulgare* L.), o en terrenos muy arcillosos, en siembras en seco, etc., debe aumentarse la densidad en un porcentaje mayor. Finalmente, es prudente incluir un colchón de seguridad sembrando de 5 a 10% más de acuerdo a las consideraciones anteriores y, adicionalmente calcular el número de semillas a sembrar por metro lineal.

#### **2.4.1. Densidad de plantas**

Para determinar la densidad de población óptima debe estudiarse a detalle la densidad de siembra, que son dos cosas distintas; la primera es la cantidad de plantas establecidas por hectárea y la segunda es la cantidad de semilla ha<sup>-1</sup> que se deposita al sembrar. Las dos cantidades no son iguales, ya que una fracción de las plántulas siempre se pierde.

La densidad de plantas por hectárea recomendable depende de varios factores:

Condiciones agroecológicas y de manejo: los suelos más fértiles o con dosis mejores de fertilización o con mejores condiciones de crecimiento permiten mayor densidad de población.

En la práctica, esto significa que las densidades de población recomendables pueden ir desde 50000 plantas en temporal, en laderas, con suelos que no retienen bien la humedad, hasta alrededor de 100000 en las mejores condiciones y con riego, como en ciertas zonas de Sinaloa o del Bajío, en México.

Variedad. Híbridos de 2.0 m de altura, y precoces toleran mejor una mayor densidad que los híbridos altos y tardíos. En los Valles Altos del Centro de México los criollos y algunas variedades mejoradas no toleran más de 65000 plantas ha<sup>-1</sup> porque se acaman. También se ha observado que los híbridos con hojas erectas pueden sembrarse en densidades mayores que los híbridos con hojas caídas (González *et al.*, 2007).

Riesgo de sequía: Con déficit de humedad una densidad alta es contraproducente, por lo tanto conviene trabajar con menos de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup> en zonas donde los años de sequía son frecuentes, como sucede comúnmente en los Valles Altos del Centro de México (González *et al.*, 2006).

Las producciones más altas generalmente se logran con rendimientos de grano por planta de 150 a 180 g. Este dato sugiere que si en una parcela se producen 12.0 t de grano ha<sup>-1</sup>, la densidad de plantas sería de 67000 a 80000. Para obtener 8.0 t ha<sup>-1</sup> se sugiere de 45000 a 55000 plantas ha<sup>-1</sup>. Para 15.0 t ha<sup>-1</sup> sería entre 85000 y 100000 plantas ha<sup>-1</sup> (Lafitte. 1983).

#### **2.4.2. Ejemplo**

En un terreno de riego, bien manejado y abonado pueden producirse 12.0 t ha<sup>-1</sup> de grano con 80000 plantas ha<sup>-1</sup>. Al sembrar en pata de maíz, es decir, en condiciones difíciles de emergencia, la semilla se trata con un insecticida y con la siembra debe aplicarse otro insecticida granulado, para evitar mayores pérdidas por plagas del suelo al inicio. En una prueba de germinación nacieron 95 de cada 100 semillas y si suponemos que la pérdida total de semillas y plántulas será del 25%, por seguridad, se considerará un 30%.

La densidad de plantas deseada es de 80000 y ésta se divide entre 0.7 para obtener la densidad de siembra. El resultado son 114000 semillas ha<sup>-1</sup>. Si el surco es de 1.0 m de ancho

deben sembrarse 11.4 semillas por m, pero en surcos de 80 cm serán sembradas  $11.4 \times 0.8 = 9.1$  semillas por m lineal. Esto equivale a una semilla cada 11 cm.

Finalmente, se calibra la sembradora de tal manera que deposite 9 semillas por m lineal, y deben verificarse constantemente que así sea, excavando al azar en los surcos establecidos atrás de la sembradora.

### **2.4.3. Algunos logros sobresalientes sobre tecnología de producción**

Los rendimientos de grano en maíz se han incrementado significativamente desde la adopción de híbridos; en el periodo de 1930 a 2008 en Estados Unidos de Norteamérica se aumentó su producción de 1.5 a 9.5 t ha<sup>-1</sup> (Tollenaar y Lee, 2011). En Francia, de 1952 a 2008 el incremento de grano promedio varió de 1.9 a 9.1 t ha<sup>-1</sup> (Agreste, 2009), en Argentina, de 2006 a 2008 éste fue de 6.7 t ha<sup>-1</sup> (SAGPYA, 2009), mientras que en Ontario, Canadá fue de 9.2 t ha<sup>-1</sup> (OMAFRA, 2009). Casi un 50 % de estos incrementos se han atribuido principalmente al eficiente mejoramiento genético y a mejores prácticas agronómicas; de 1930 a 2000 se obtuvo un incremento lineal anual de 77 kg ha<sup>-1</sup> cuando los híbridos fueron sembrados a 3.0, 5.4 y 7.9 plantas m<sup>2</sup> (Duvick *et al.*, 2004). No obstante lo anterior, un 65 % de éste se asocia con una mayor ganancia genética (118 kg ha<sup>-1</sup> por año) y, específicamente con una mejor explotación de los efectos de asociación genotipo x ambiente (Tollenaar y Lee, 2002; Duvick *et al.*, 2004).

Con relación a lo anterior, los cuatro cambios tecnológicos más importantes que han ocurrido en los últimos 70 años están vinculados estrechamente al incremento en la densidad de población, al uso de más fertilizantes inorgánicos, a la aplicación de métodos más eficientes para el control de malezas y elección de localidades donde puedan establecerse siembras tempranas para el uso de híbridos de mayor ciclo biológico (Tollenaar y Lee, 2011).

En México, en el año 2010 se sembraron 8 221 5 18 ha de maíz, pero sólo un 80 % de esta superficie fue cosechada debido principalmente a precipitación pluvial errática y problemas abióticos; los rendimientos promedio para grano, forraje y semilla fueron de 3.24, 27.22 y 7.56 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Andrio *et al.*, 2011). En el contexto anterior es deseable mejorar la productividad de esta gramínea para incrementar los ingresos económicos de los agricultores mexicanos. La explotación de heterosis en asociación con la tecnología agrícola apropiada es una opción viable.

Los fitomejoradores han orientado sus actividades hacia la formación de híbridos que podrían superar a los criollos en los Valles Altos del Centro de México; se ha considerado una fase de evaluación en campo para valorar caracteres vegetativos y reproductivos y una segunda fase de la evaluación después de la cosecha con base en las características de la mazorca, el rendimiento *per se* y otros componentes asociados con calidad de grano (Velázquez *et al.*, 2005).

En Tonalico, Estado de México no existe información sobre potencial de producción de los maíces, sobre cuales variedades son sobresalientes y sobre el paquete tecnológico más recomendable para alcanzar este propósito, por lo que el presente estudio podría contribuir a documentar en parte la problemática regional que se aborda en este trabajo.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción del sitio experimental

Este trabajo se realizó en condiciones de temporal en el ciclo agrícola primavera verano de 2012 en La Vega, localidad del Municipio de Tonalico, Estado de México, México, ubicada a 4.0 km de la Cabecera Municipal. Tonalico se localiza en el sur mexiquense, a 99° 40' de longitud oeste, y 18° 48' de latitud norte.

La mayoría del territorio se ubica a 1 650 metros sobre el nivel del mar (msnm). El "Cerro de Tlacopan" es la parte más alta, con 2,125 msnm y "la junta de los ríos" es la parte más baja con 1,440 msnm.

Tonalico limita al norte y al poniente con Ixtapan de la Sal, al sur con Pilcaya, Gro., y al oriente con Zumpahuacán. Una pequeña punta de tierra de Villa Guerrero entra por el norte, entre Zumpahuacán e Ixtapan de la Sal.

El clima predominante de la región es del tipo subtropical de altura, con una temperatura media anual de 28°C. Lluvia por lo regular de noche y la época de lluvias es a finales de mayo o principios de junio hasta finales de septiembre. La precipitación pluvial anual va de 500 a 900 mm. Los vientos dominantes surgen del sureste y no son mayores a 50 km/h de acuerdo al sistema de Köppen, modificado por García (1988).

#### 3.2. Material genético

Los seis híbridos que se utilizaron en este trabajo fueron Asgrow 7573, Aspros 1501, Ceres Tornado, Ceres XR 92, Águila 281 tropical y Águila 215 w.

### **3.3. Factores de estudio**

En este estudio fueron evaluados los seis híbridos previamente indicados (Factor C) en las fórmulas de fertilización inorgánica (Factor A) 200N-150P-120K y 100N-75P-60K en las densidades de población (Factor B) de 60000, 80000 y 100000 plantas por ha.

### **3.4. Diseño y tamaño de las unidades experimentales**

La unidad experimental constó de tres surcos de 6.0 m de longitud y 0.8 m de ancho, pero la parcela útil sólo fue el surco central (área de 4.8 m<sup>2</sup>).

Las dos fórmulas de fertilización, las tres densidades de siembra y los seis híbridos de maíz fueron evaluados en campo en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tres factores de estudio fueron alojados en un arreglo de parcelas subdivididas, en el orden en que éstos fueron indicados.

Figura 1. Croquis en campo de las parcelas experimentales

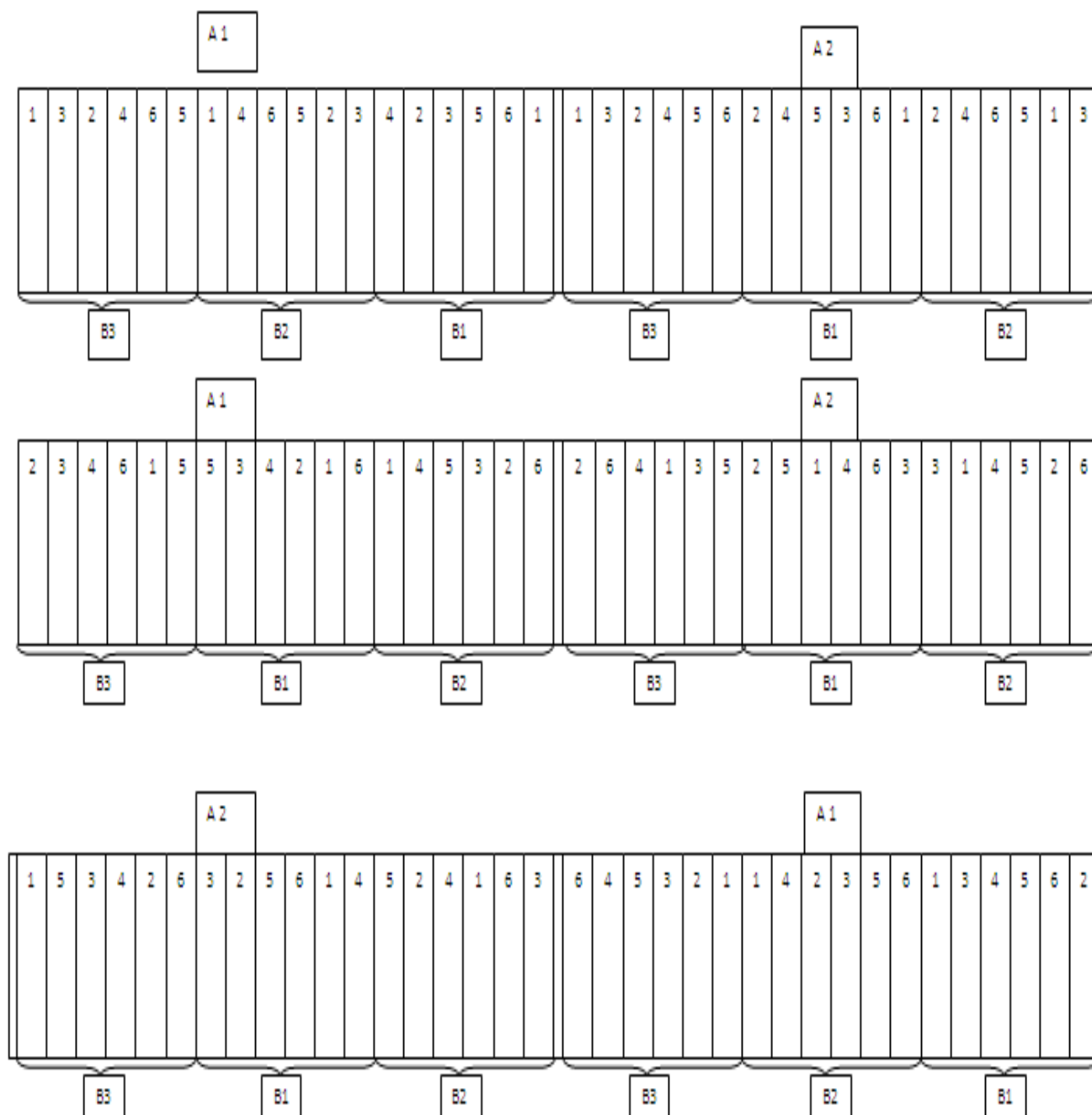


Figura 2. Localización del experimento





### **3.5. Manejo agronómico del experimento**

La preparación del suelo consistió en un subsuelo, para que el agua filtrara más y las raíces de las plantas profundizaran; en caso de que hubiera una capa de arado en el suelo esta actividad la fracturaría y la cama de siembra estaría en mejores condiciones. Después se dio un paso de rastra usando un implemento agrícola con 32 discos dentados, pero como éste no fue suficiente se dio el segundo, para que no quedaran terrones muy grandes y el suelo quedara en excelentes condiciones para la siembra. Posteriormente se efectuó el surcado a 0.80 m entre hileras. Inmediatamente se trazó el lote experimental y se distribuyeron los tratamientos en campo. Después de realizar todas estas actividades se hizo la siembra manual el 23 de junio de 2012; esta actividad consistió en depositar la semilla en cada una de las parcelas según el tipo de fertilización y densidad de población evaluada en cada uno de los seis híbridos. El 15 de junio se aplicó la primera fertilización inorgánica, la cual consistió en una mezcla con 18N-46P-00K y cloruro de potasio; se fertilizó en banda para que las plantas lo asimilaran de manera más eficiente. El 22 de julio se usó el tractor para aplicar herbicida y para el control de plagas; la maleza de hoja ancha se controló con atrazina y 2,4 D Amina, en dosis de 1.0 kg y 1.0 L por ha, respectivamente. El 3 de septiembre se realizó la segunda fertilización nitrogenada con urea (46 % de nitrógeno). Con una bomba de mochila, El 4 de septiembre se aplicó paraquat para controlar las malezas de hoja angosta. El registro de datos en campo se hizo en septiembre y la cosecha manual y el registro de variables postcosecha se efectuó en enero y marzo del 2013.

### 3.6. Variables registradas

En el registro de datos fue considerada una muestra de 10 plantas elegidas con competencia completa dentro de la parcela experimental útil. Las variables registradas fueron:

**Altura de planta (AP):** se midió en m desde la base del suelo hasta la hoja bandera.

**Altura de mazorca (AM):** se midió en m desde la base del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior.

**Longitud de mazorca (LM):** se midió en cm cada una de las mazorcas cosechadas en la parcela útil, desde la base hasta su punta y se registró su promedio.

**Diámetro de mazorca (DM):** se midió en cm la parte central de cada una de las mazorcas cosechadas en la parcela.

**Número de hileras por mazorca (NH):** se contó el número de hileras de cada una de las 10 mazorcas y se registró su promedio aritmético.

**Peso de mazorca (PM):** se consideró el peso individual de cada mazorca y su promedio se registró en g.

**Peso de olote (PO):** Se consideró el promedio de las 10 plantas cosechadas en la parcela útil y se expresó en g.

**Diámetro de olote (DO):** se midió la parte central del olote y se registró su promedio en cm.

**Peso de grano por mazorca (PG):** se determinó con base en la producción de las plantas cosechadas en la parcela útil y se expresó en g.

**Peso volumétrico del grano (PV):** se pesó el grano contenido en un litro en cada parcela y se expresó en g L<sup>-1</sup>.

### 3.7. Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza según el diseño experimental previamente descrito. La comparación de medias de fórmulas de fertilización, densidades de población, y híbridos de maíz se hizo con la prueba de Tukey al nivel de significancia del 5 %. Los procedimientos aritméticos para la obtención de estos análisis univariados fueron descritos por Gomez y Gomez (1984) y las salidas del análisis estadístico fueron proporcionadas por el Sistema para Análisis Estadístico, mejor conocido por sus siglas en inglés como SAS (SAS, 1988).

También se hizo un análisis de componentes principales (ACP) para representar las interrelaciones entre híbridos y variables registradas. En el ACP, antes de obtener el biplot, los datos fueron estandarizados y su estructura fue sometida a la descomposición de valores singulares. La estandarización se hizo al restar la columna de medidas (variables) y posteriormente al dividir los elementos de cada columna por la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de las desviaciones. En el biplot se analiza la estructura de una matriz de datos (varianzas y correlaciones) compuestas de unidades taxonómicas (cultivares de maíz), asignadas a las hileras y los promedios aritméticos de las variables que las caracterizan (rendimiento y componentes del rendimiento) asignados a las columnas.

El biplot reemplazó la necesidad de usar gráficas múltiples y permitió la determinación visual y confiable de la existencia de patrones entre las unidades taxonómicas como resultado de los valores de sus variables, además identificó los valores que separan los grupos definidos y la relación que existe entre las variables. La similitud entre las unidades taxonómicas y entre variables se pueden determinar por la magnitud del ángulo que se forma entre parejas de vectores: un ángulo de  $90^\circ$  indica no correlación; un ángulo de  $0^\circ$  ó  $180^\circ$  indica correlación de 1.0 ó -1.0, respectivamente. En un mismo cuadrante del biplot puntos cercanos tienen valores

similares y viceversa. Los resultados del ACP se obtuvieron con el programa escrito en el lenguaje matricial interactivo del SAS para sistema operativo MS DOS; este programa fue descrito por Sánchez (1995) para el estudio de razas de teocintle (*Zea mays* spp mexicana) en México y también fue aplicado por González *et al.* (2010) para el estudio de las interrelaciones entre índices de estabilidad y la estabilidad de maíces de Valles Altos del Centro de México.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza se observó que la fertilización inorgánica (Factor A) sólo afectó significativamente a los pesos de mazorca y de grano por mazorca, pero al aplicar la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) se notó que la duplicación en las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio no causó un incremento significativo en ninguna de las variables (Cuadro 2). Estos resultados son similares a los observados por Alcibar *et al.* (1999) pero parecen contradictorios a los presentados por Bartolini (1989) o Domínguez (1987) debido a que los tres macroelementos son indispensables para mejorar las dimensiones de planta, mazorca y rendimiento de grano.

La densidad de población (Factor B) originó diferencias estadísticas en las dimensiones de la mazorca, como longitud, diámetro y pesos de olote y de grano. Al aplicar la prueba de Tukey se verificó que al variar de 60 000 a 100 000 plantas por hectárea, además de lo anterior, también se detectaron efectos significativos sobre el peso de mazorca y en su circunferencia (Cuadro 3).

En otros estudios se concluyó que los híbridos de maíz (Factor C) mostraron variabilidad fenotípica importante en la mayoría de las variables evaluadas (Rodríguez *et al.*, 2015) o sólo en diámetro de mazorca, número de hileras, peso de grano por mazorca, y altura de planta (Alcibar *et al.*, 1999). Los resultados anteriores fueron confirmados al aplicar la prueba de Tukey; en ésta última tampoco se detectaron efectos significativos en peso volumétrico del grano (Cuadro 3).

La interacción fertilización x híbridos (Ax C) sólo fue significativa en diámetro y en pesos de grano y de mazorca; la interacción fertilización x densidad x híbridos (Ax Bx C) también fue en las primeras dos de esas variables (Cuadro 1). Alcibar *et al.* (1999) no encontraron interacciones significativas al evaluar el efecto de tres fórmulas de fertilización, tres densidades de población y tres cultivares de maíz.

Los resultados mostrados previamente sugieren que los pesos de mazorca y de grano por mazorca, ambas componentes primarias del rendimiento de grano por hectárea, fueron influenciadas estadística e independientemente por cada uno de estos tres factores tecnológicos y dependen parcialmente de algunas interacciones. Adicionalmente, sugieren que el híbrido de maíz que se elija para generar tecnología es más importante que la fertilización inorgánica o que la densidad de población que se empleó, dentro de los límites evaluados en el presente estudio.

Los resultados anteriores podrían explicarse por el hecho de que el mejoramiento genético por hibridación para incrementar el rendimiento de grano se ha basado en la obtención de material genético con mayor respuesta al incremento en la aplicación de fertilizantes inorgánicos, sembrados con más de 70 000 plantas por ha; la elección de localidades donde se puedan establecer siembras comerciales tempranas, con la aplicación de mejores métodos para el control de malezas y la elección de material genético tolerante al estrés biótico y abiótico, son otras características importantes que deben ser explotadas para cumplir con el propósito anterior (Alcibar *et al.*, 1999; Tollenaar y Lee, 2011; Rodríguez *et al.*, 2015; Reynoso *et al.*, 2014).

**Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F.**

FV	GL	AP	AM	LM	CM	NHM	PM	PO	DO	PGM	PV
R	2	0.023ns	0.057ns	92.93**	32.15**	3.07ns	26469**	762**	3.05**	19307**	5079**
A	1	0.397**	0.077ns	11.80ns	1.44ns	0.87ns	3502**	201**	1.37**	22*	92ns
Ea	2	0.021	0.029	4.41	0.40	1.52	10.9	16	0.21	24	118
B	2	0.0004ns	0.004ns	22.22**	3.13**	2.60	6526**	175**	0.93**	4070**	837ns
AB	2	0.006ns	0.005ns	1.93ns	0.19	0.36ns	608ns	9	1.06**	421ns	220ns
Eb	8	0.047	0.039	3.21	0.66	0.63	967	23	0.43	674	388
C	5	0.409**	0.225**	6.39**	2.77**	4.77**	2625**	28ns	0.22ns	2385**	469ns
AC	5	0.018ns	0.033ns	1.29ns	0.80ns	0.50ns	1111*	18ns	0.54*	1137*	161ns
BC	10	0.032ns	0.024ns	1.35ns	0.46ns	0.65ns	704ns	14ns	0.10ns	587ns	406ns
ABC	10	0.017ns	0.021ns	1.66ns	0.19ns	1.85ns	248ns	10ns	0.37*	280ns	456ns
Ec	60	0.018	0.019	1.57	0.41	0.78	434	12	0.18	352	288
T	107										

R= repeticiones; A = fertilización; B = densidad de población; C = híbridos; las interacciones se muestran combinando letras mayúsculas; AP= altura de planta ; AM=altura de mazorca; LM=longitud de mazorca;

CM=circunferencia de mazorca NHM=número de hileras; PM=peso de mazorca; PO=peso de olote; DO=diámetro de olote; PGM=peso de grano por mazorca ; PV=peso volumétrico del grano.

**Cuadro 2. Comparación de medias para fertilización inorgánica. Tukey (p=0.05).**

	AP	AM	LM	DM	NH	PM	PO	DO	PGM	PVG
<b>F1</b>	2.05 a	1.02 a	15.60 a	14.22 a	15.20 a	143.8 a	25.8 a	9.53 a	118.2 a	744.6 a
<b>F2</b>	1.92 a	0.96 a	14.94 a	13.99 a	15.02 a	132.4 b	23.1 a	9.30 a	109.1 b	742.8 a
<b>DMSH</b>	0.12	0.14	1.73	0.52	1.02	2.73	3.38	0.38	4.09	9.02

AP= altura de planta AM=altura de mazorca LM=longitud de mazorca CM=circunferencia de mazorca NHM=número de hileras ; PM=peso de mazorca PO=peso de elote

DO=diámetro de elote; PGM=peso de grano por mazorca PV=peso volumétrico; F1= 200N-75P-60K; F2= 100N-75P-60K.



**Cuadro 3. Comparación de medias para densidades de población (Factor B; Tukey = 0.05).**

	<b>AP</b>	<b>AM</b>	<b>LM</b>	<b>CM</b>	<b>NHM</b>	<b>PM</b>	<b>PO</b>	<b>DO</b>	<b>PGM</b>	<b>PV</b>
<b>D1</b>	1.98a	0.98a	16.15 a	14.44 a	15.40 <sup>a</sup>	152.9 a	26.96 <sup>a</sup>	9.60a	125.54 <sup>a</sup>	748 a
<b>D2</b>	1.98a	0.99a	15.01ab	13.98 ab	14.86 <sup>a</sup>	135.1ab	23.85ab	9.37a	110.48ab	738 a
<b>D3</b>	1.99a	1.00a	14.64 b	13.89 b	15.06a	126.5b	22.68b	9.29a	105.00 b	745 a
	0.14	0.13	1.20	0.54	0.53	20.95	3.24	0.44	17.48	13.2

AP= altura de planta AM=altura de mazorca; LM=longitud de mazorca; CM=circunferencia de mazorca; NHM=número de hileras:

PM=peso de mazorca; PO=peso de elote; DO=diámetro de elote; PGM=peso de grano por mazorca; PV=peso volumétrico; D1, D2 y D3 =60,000,

80,000 y 100 000 plantas por hectárea, respectivamente.

**Cuadro 4. Comparación de medias para variedades de maíz (Factor C; Tukey= 0.05).**

	<b>AP</b>	<b>AM</b>	<b>LM</b>	<b>CM</b>	<b>NHM</b>	<b>PM</b>	<b>PO</b>	<b>DO</b>	<b>PGM</b>	<b>PV</b>
<b>V1</b>	2.01 b	1.04 ab	15.50 ab	14.17ab	15.42 ab	137.1abc	22.62 a	9.58a	114.5abc	744a
<b>V2</b>	1.79 d	0.81 c	15.53 a	14.43 <sup>a</sup>	15.91 a	146.0 ab	23.34 a	9.31a	121.3ab	736a
<b>V3</b>	2.07 b	1.02 ab	14.29 b	13.70b	15.29 ab	121.8 c	25.41 a	9.44a	99.3 c	739a
<b>V4</b>	1.86 cd	0.93 bc	16.06 a	14.61a	14.71 b	156.8 a	25.57 a	9.40a	131.4 <sup>a</sup>	746a
<b>V5</b>	2.21 a	1.14 a	15.22 ab	13.62b	14.64 b	131.6 bc	25.47 a	9.24a	105.5bc	744a
<b>V6</b>	1.97 bc	0.99 b	15.00 ab	14.10ab	14.68 b	135.4 bc	24.57 a	9.53a	109.9 bc	751a
	0.13	0.13	1.23	0.63	0.86	20.45	3.50	0.41	18.42	16.6

AP= altura de planta AM=altura de mazorca; LM=longitud de mazorca; CM=circunferencia de mazorca; NHM=número de hileras;

PM=peso de mazorca; PO=peso de elote; DO=diámetro de elote; PGM=peso de grano por mazorca; PV=peso volumétrico;

V1=Asgrow 7573; V2=Aspros 1501; V3=Tornado; V4=Ceres XR 92; V5=Águila 281; V6=Águila 215.

**Cuadro 5. Análisis de correlación lineal simple.**

	<b>AM</b>	<b>LM</b>	<b>CM</b>	<b>NH</b>	<b>PM</b>	<b>PO</b>	<b>DO</b>	<b>PGM</b>	<b>PVG</b>
<b>AP</b>	0.77**	-0.035ns	-0.297**	-0.153ns	-0.170ns	0.144ns	0.029ns	-0.213*	0.004ns
<b>AM</b>		-0.124ns	-0.341**	-0.175ns	-0.227*	0.016ns	-0.006ns	-0.257**	0.045ns
<b>LM</b>			0.753**	0.271**	0.851**	0.721**	0.517**	0.835**	0.389**
<b>CM</b>				0.296**	0.830**	0.692**	0.512**	0.823**	0.400**
<b>NH</b>					0.222*	0.200*	0.229*	0.235**	-0.0009ns
<b>PM</b>						0.778**	0.484**	0.984**	0.399**
<b>PO</b>							0.599**	0.706**	0.327**
<b>DO</b>								0.459**	0.279**
<b>PGM</b>									0.408**

N=108 parejas de datos; AP= altura de planta; AM=altura de mazorca; LM=longitud de mazorca; CM=circunferencia de mazorca; NHM=número de hileras; PM=peso de mazorca; PO=peso de elote;

DO=diámetro de elote; PGM=peso de grano por mazorca; PVG=peso volumétrico del grano ; Ns= no significativo \*; \*\*= significativo y altamente significativo al 5 ó 1%, respectivamente

En el análisis de componentes principales (CP), donde se muestran las interrelaciones entre híbridos de maíz y características agronómicas (Figura 1), se observó que los CP 1 (51.74%) y 2 (24.60%) explicaron el 76.34 % de la variación total original. Sánchez (1995), González *et al.* (2010) y Reynoso *et al.* (2014) sugirieron que es deseable que los dos primeros CP expliquen más del 50 % de la variación original de los datos para que las varianzas y correlaciones aproximadas que se observen en el biplot puedan interpretarse confiablemente.

En el contexto anterior, las correlaciones positivas y significativas que se observaron entre peso de grano por mazorca y el resto de las variables evaluadas, excepto en alturas de planta y mazorca, donde la asociación fue negativa y significativa, son verificables en el Cuadro 5. Este hecho destaca la importancia que ha tenido el mejoramiento genético por hibridación en las últimas décadas; se ha dado prioridad a la obtención de plantas uniformes de menores dimensiones, para disminuir los daños causados por acame de tallo y raíz y para favorecer la cosecha mecánica con el uso de híbridos con mayor adaptabilidad, y se ha explotado la heterosis hacia mejores dimensiones en mazorca y, por lo tanto, de mayores índices de cosecha y más rendimiento de grano por hectárea (Duvick *et al.*, 2004; Tollenaar y Lee, 2011; Rodríguez *et al.*, 2015; Reynoso *et al.*, 2014).

Se desconocen los progenitores de los seis híbridos pero su dispersión en los cuatro cuadrantes del biplot sugiere la existencia de variabilidad fenotípica importante que está relacionada con su diferente origen genético y geográfico. La superioridad de CERESXR92 con relación al resto de los cultivares se explica por el hecho de que éste tuvo las mayores dimensiones en longitud, diámetro y pesos de mazorca y de grano por mazorca. Rodríguez *et al.* (2015) evaluaron ocho cultivares de maíz en cinco densidades de población en tres localidades del Valle de Toluca, en el Estado de México, México, y observaron que el peso de grano por mazorca podría considerarse como un criterio de selección indirecto para identificar

cultivares sobresalientes; aquellos que logren disminuir poco su producción de grano por planta al incrementarse la densidad de población (o con estrés biótico o abiótico alto) manteniendo constante la fertilización inorgánica, serán los que podrían manifestar un mayor potencial de producción. El peso de mazorca también podría considerarse con el mismo propósito, pero se ha observado que el peso de grano por mazorca y/o por planta presentan interrelaciones más estrechas con rendimiento de grano por hectárea (González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010).

La superioridad que mostró Águila 215 en pesos de olote y volumétrico del grano comúnmente no se refleja en una mayor productividad debido a que el incremento en ambas características generalmente está asociado estrechamente con mazorcas de mayor circunferencia y con oletes de mayor diámetro, pero de granos más pequeños. Esto origina una descompensación en el peso de mazorca y en el rendimiento de grano por mazorca, lo cual contribuye a una menor productividad por unidad de superficie cosechada. Este híbrido sólo produjo 109.9 g por planta (Cuadro 4; Figura 3).

Águila 281 sobresalió por sus mayores alturas de planta y mazorca pero su producción de grano por mazorca fue de 105.4 g. Estos resultados sugieren que este cultivar podría emplearse para la producción de forraje y/o materia seca. En otros estudios se ha observado que las mayores alturas de planta y mazorca en maíz están correlacionadas positiva y significativamente con mayores producciones grano, materia verde y/o seca (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008). En los Valles Altos del Centro de México se ha dado mayor importancia al mejoramiento genético de nuevos híbridos para la producción de grano y existen pocos materiales recomendables para la producción de forraje (Franco *et al.*, 2015).

La localización de Águila 281 y Águila 215 en el mismo cuadrante del biplot sugiere que ambos híbridos están estrechamente emparentados; en otros estudios se ha inferido que los híbridos de otras empresas, como ASPROS, ASGROW, MONSANTO, ICAMEX E INIFAP, entre otras

(González *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2015; Reynoso *et al.*,2014), están relacionadas genética y geográficamente; quizás ambos híbridos tengan en común a dos líneas endogámicas formadas por el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT).

AW7573 presentó mayor diámetro de olote; su productividad de grano por planta fue de 114.5 g. Su mayor cercanía con las dimensiones de la mazorca compensó parcialmente su productividad de grano intermedia (Figura 3).

En AS 1501 se registró el mayor número de hileras de grano (NH); su producción por mazorca fue de 121.3 g, promedio estadísticamente igual al registrado en CERESXR92, el mejor híbrido. NH se correlacionó positiva y significativamente con LD, CM, PM, PO, DO y PGM (Cuadro 5).

Tornado, quizás fue el cultivar con menor adaptación a las condiciones ambientales que predominaron en Tonatico, Estado de México, en el año en el que se estableció el presente estudio. Las menores dimensiones que presentó en mazorca fueron las que contribuyeron principalmente a su menor productividad de grano (99.37 g; Cuadro 4, Figura 1).

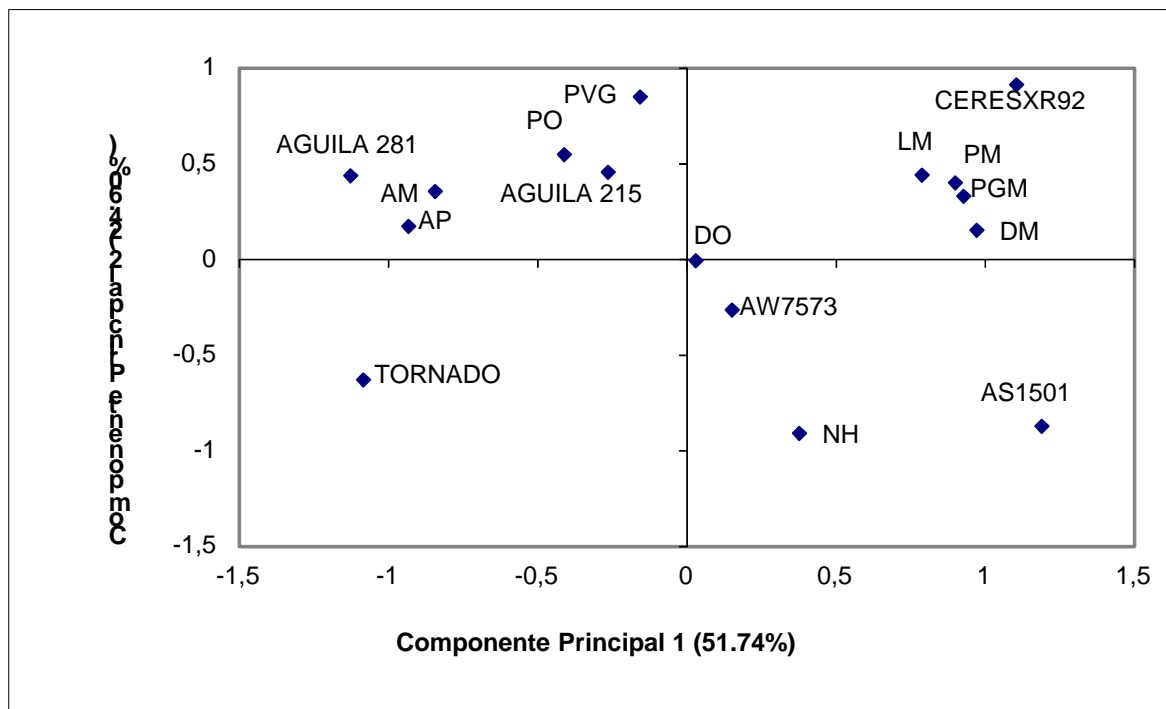


Figura 3. Interrelaciones entre híbridos de maíz y variables agronómicas. Análisis de componentes principales.

## V.CONCLUSIONES

En este estudio se observó que la fertilización inorgánica (Factor A) sólo afectó significativamente a los pesos de mazorca y de grano por mazorca; la duplicación en las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio no causó un incremento significativo en ninguna de las variables evaluadas.

La densidad de población (Factor B) originó diferencias estadísticas en las dimensiones de la mazorca, como su longitud, diámetro y sus pesos de olote y de grano; al variar de 60 000 a 100000 plantas ha<sup>-1</sup>, además de lo anterior, se detectaron efectos significativos sobre el peso de mazorca y en su circunferencia.

La interacción fertilización x híbridos (AxC) sólo fue significativa en diámetro y en pesos de grano y de mazorca; la interacción fertilización x densidad x híbridos (AxBxC) también lo fue en las primeras dos de esas variables.

Los CP 1 (51.74%) y 2 (24.60%) explicaron el 76.34 % de la variación total original. En el biplot se observaron correlaciones positivas y significativas entre peso de grano por mazorca y el resto de las variables evaluadas, excepto con alturas de planta y mazorca, donde la asociación fue negativa y significativa.

Se desconocen los progenitores de los seis híbridos pero su dispersión en los cuatro cuadrantes del biplot sugiere la existencia de variabilidad fenotípica importante que está relacionada con su diferente origen genético y geográfico.. La superioridad de CERESXR92 con relación al resto de los cultivares se explica por el hecho de que éste sobresalió en longitud, diámetro y pesos de mazorca y de grano por mazorca.



## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Agreste.2009. La Statistique Agricole. Ministere de l'Agriculture et de la Pêche.  
[http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes\\_3/Statistique\\_agricole\\_annuelle.saa\\_456/index.html](http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes_3/Statistique_agricole_annuelle.saa_456/index.html).
- Alcibar, E. J., Pérez, L. D. J., González, H. A. 1999. Efecto de la fertilización y densidad de población en tres variedades de maíz (*Zea mays* L.). Revista Ciencias Agrícolas Informa 12:13-19.
- Bartolini, C. 1989. La Fertilidad de Suelos. Edit. Agroguias. Madrid, España.
- Bryans, D. 1987. Manejo del Suelo. Edit. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. pp: 10-15.
- ASERCA. 1997. La Vanguardia de la Producción de Maíz. Pronósticos de la Producción Mundial de Granos y Oleaginosas. Revista Claridades Agropecuarias No. 45. p: 4-5.
- Domínguez, A. 1987. Tratado de Fertilización. 2ª Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España, pp: 307-315.
- Duvick, D.N., Smith, J, S, C., Cooper, M. 2004. Long term selection in a comercial hybrid maize breeding program. Plant Breeding 24:109-151.
- Franco, M.J.R.P., González, H.A., Pérez L.D.J., González, R.M. 2015. Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles altos del Estado de México, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6 (8):1915-1926.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 246 p.
- González, H. A., Sahagún, C. J., Pérez, L. D.J., Domínguez, L. A., Serrato, C., R., Landeros, F. V., Dorantes, C. E. 2006. Diversidad fenotípica de maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29(3):255-261.

- González, H. A., Vázquez, G. L. M., Sahagún, C. J., Rodríguez, P. J. E., Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México* 33(1):33-42.
- González, H.A., Vázquez, G.L.M., Sahagún, C.J., Rodríguez, P.J.E. 2008. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atzacomulco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(1):67-76.
- González, A., Pérez, D. J., Sahagún, J., Franco, O., Morales, E., Rubí, M., Gutiérrez, F., Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atzacomulco, México. *Revista Agronomía Costarricense* 34(2):129-143.
- Gomez K. A., Gomez, A. A. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd. Edition. John Wiley and Sons. Singapore. 680 p.
- Gross, A. 1976. *Abonos, guía práctica de la fertilización*. 6ª Edición. Editorial Mundi- Prensa. Madrid. pp: 384-393.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1994. *El Sector Alimenticio en México*. Comisión Nacional de Alimentación.
- Jugenheiner, R.1981. *Maíz, variedades mejoradas, método de cultivo y producción de semillas*. Edit. Limusa. México.
- Lafitte, H. R. 1993. *Identificación de problemas en la producción de maíz tropical*. Guía de campo. México, D.F. CIMMYT.
- Mejía, L. M.1991. *Evaluación de 13 variedades de maíz en el Municipio de Metepec, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas. U.A.E.M. Toluca, México. 48 p.
- Muñoz, J. 1983. *Usted, la tierra, los abonos, y los frutos*. Editorial Diana. Primera Edición. Impreso en México, D.F.153 p.

- Ontario Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (OMAFRA). 2009. Field Crops Statistics.  
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/stats/crops/index.html>.
- Poey, F. 1978. El mejoramiento integral del maíz: valor nutritivo y rendimiento; hipótesis y métodos. Editorial Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, D.F. pp: 89-91.
- Reyes, C.P. 1990. El Maíz y su Cultivo. AGT Editor, S.A. México, D.F.
- Reynoso, Q. C.A., González, H.A., Pérez, L.D.J., Franco, M.O., Torres, F.J.L., Velázquez, C.G.A.,  
  
Breton, L.C., Balbuena, M.A., Mercado, V.O. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(5):871-882.
- Rodríguez, F.I., González, H. A., Pérez L. D.J., Rubí, A. M. 2015. Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6 (8):1943-1955.
- Sánchez, G.J.J. 1995. El análisis biplot en clasificación. Revista Fitotecnia Mexicana 18(2):188-203.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT. User's Guide, Release 6.03 Edition. Cary, N. C. USA, 1028 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPYA). 2009. Estimaciones Agrícolas. <http://www.Minagri.gob.ar/SAGPYA/áreas/siia/index.php>.
- Selke, W. 1968. Los Abonos. Editorial Academia, León, España. Traducción de Ortwin Gunther-León. España. pp: 253-271.
- Simpson, K. 1991. Abonos y Estiércoles. Editorial Acribia, S.A. España. pp: 155-185.
- Tanaka, A., Yamaguchi, J. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y

- rendimiento de grano en maíz. Trad. Josué Kohashi Shibata. Centro de Botánica. Tercera Edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, estado de México México, D.F.
- Tisdale, L.S. 1996. Fertilidad de los Suelos. Edit. Unión Tipográfica. Barcelona, Buenos Aires.
- Tollenaar, M., E.A. Lee. 2011. Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews* 34:37–82.
- Velázquez, C. G. A., Tut, C. C., Lothrop, J., Virgen, V. J., Salinas, M. Y. 2005. H-40. Híbrido de maíz de grano blanco para los Valles Altos de México. Folleto Técnico Núm. 21. SAGARPA-INIFAP-CIRC. Chapingo, estado de México. 21 p.
- Willard, H. 1988. Manual de Fertilizantes. Edit. Limusa. México, D.F. pp: 92-95.
- Worthing, E., Aldrich, A. 1980. Suelos agrícolas, su conservación y fertilización. 2ª edición. Editorial Unión Topográfica Uthea. México, D.F. pp: 86-108.