



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ HVA1291  
VALLES ALTOS EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA  
HÉCTOR FRANCISCO DÍAZ LÓPEZ**

**DIRECTOR DE TESIS  
M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ**

**Tetela de Ocampo, Puebla, México. Diciembre de 2020.**



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

**COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ HVA1291  
VALLES ALTOS EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA**

**HÉCTOR FRANCISCO DÍAZ LÓPEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ**

**ASESORES**

**DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ**

**M.C. MARÍA DEL ROSARIO HERNÁNDEZ TAPIA**

**Tetela de Ocampo, Puebla, México. Diciembre de 2020.**

La presente tesis titulada: **EVALUACIÓN DE CALIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ HVA1291 VALLES ALTOS EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN**, realizada por el alumno **Héctor Francisco Díaz López**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

**LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL  
COMPLEJO REGIONAL NORTE – SEDE TETELA**

**Consejo particular integrado por:**

**Firma**

**Director:** M.C. Benjamín Barrios Díaz

\_\_\_\_\_

**Asesor:** Dr. Juan Manuel Barrios Díaz

\_\_\_\_\_

**Asesora:** M.C. María del Rosario Hernández Tapia

\_\_\_\_\_

**Tetela de Ocampo, Puebla, México. Diciembre de 2020**

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico BUAP-CA-324: "**Sistemas agroforestales y agrícolas sostenibles**" y de la línea de investigación: **Agricultura protegida y uso eficiente de los recursos agrícolas**. Dicho trabajo, fue financiado con **RECURSOS PROPIOS**.

## AGRADECIMIENTOS

A la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**, por ser mi *Alma Mater Studiorum*, al Complejo Regional Norte en particular a la sede Tetela porque en sus aulas, espacios y rincones dejo mis años de estudiante para formar mi vida profesional.

A **mis maestros**, por cada una de las clases impartidas y por compartir sus conocimientos conmigo en especial a mi director el **M.C. Benjamín Barrios Díaz** y a mis asesores **Dr. Juan Manuel Barrios Díaz** y **M.C. María del Rosario Hernández Tapia**, por haberme apoyado este trabajo desde el inicio hasta el final, por sus consejos como amigos, maestros y compañeros en el camino universitario.

## DEDICATORIA

*A todas las personas que formaron parte de este proyecto, de manera directa e indirecta, cabe mencionar que lo aquí plasmado con estas pequeñas líneas se queda corto con el profundo agradecimiento que me llevo en el corazón, en primera instancia gracias:*

*A Dios, por regalarme el placer de vivir y realizar todos los proyectos logrados hasta la fecha y muy en particular por este logro en la vida.*

*A mi madre, por ser quien día a día con sus sabios consejos supo hacer de mí un hombre de bien y llevarme de la mano por el camino de la vida, por enseñarme a nunca rendirme y hacerme ver que una persona sin objetivos no vale nada.*

*A mi padre, quien siempre ha sido de gran apoyo en todos los proyectos hechos y por hacer, por sus consejos y comprensión en varias situaciones de la vida, así como en los errores y logros.*

*A mi hermana, por ser mi mejor amiga desde la infancia, por cada sonrisa y lágrima compartida, secreto guardado y consejo para salir adelante.*

*A mi hermano, por ser la alegría de la casa por mucho tiempo y porque a pesar de las peleas siempre serás el pequeño de la familia.*

*A mi sobrina y cuñado, que aun cuando no estaban en el inicio de este proyecto se han vuelto parte de la familia y el apoyo sigue creciendo.*

*A mis abuelos, tíos, primos y toda la familia, por su apoyo y ánimo inquebrantable para lograr este proyecto, quienes con sus palabras me motivaron a luchar día a día para culminar este sueño, por los consejos tan sabios y acertados de cada uno de ellos. Sin duda alguna, estarán siempre presentes para seguir adelante.*

*A mis mejores amigos:*

*Luísín, por tus sabios consejos para no perder de vista los objetivos, por los momentos compartidos y por ser más que un amigo, un hermano.*

*Teresita, por ser una gran consejera, por tus palabras de motivación para no perder de vista el camino hacia lo correcto.*

*Helí, por tu compañía en los momentos difíciles, por tus consejos tan acertados para la vida y la preparación profesional.*

*Law, por tu compañía y amistad, por tus conocimientos compartidos, por ser una persona que motiva a explorar cosas nuevas.*

*Rosita, por compartir todos los momentos buenos y malos a mi lado, por tus sabios consejos y por escucharme en los peores momentos sin juzgarme.*

*Denís, por ser una gran amiga, por compartir tus alegrías con nosotros como amigos, por tus consejos y buenos deseos.*

*Jonathan, porque en ti siempre encontré un amigo honesto, sincero y con quien podía compartir ideas.*

*Martín, por tu apoyo en el trayecto de la universidad, por compartir tus logros conmigo y por tu apoyo siempre tan puntual.*

*Javier, por las locuras compartidas, por los consejos tan inesperados y por compartir tus conocimientos conmigo.*

*Uriel, por ser mi compañero en mis momentos de soledad y tristeza, siempre disponible para compartir una tarde de plática.*

*Edmar, por tu amistad, por sacar el niño que todos llevamos dentro y por las aventuras compartidas.*

*Carlos, por tu amistad, apoyo en los momentos buenos y malos, por tu amistad y tus ánimos para salir adelante.*

*Jorge, por ser un gran amigo y compañero en las aventuras de la escuela, por tu amistad sincera y por tus buenos deseos.*

*A la persona que me hizo ver la vida de una forma distinta, que estuvo conmigo en las buenas y en las malas con quien he compartido miles de sonrisas, alegrías, tristezas y lágrimas, por su apoyo incondicional y por motivarme día a día a seguir adelante, por estar a mi lado gracias*

***Karencita***

*Muy en especial a la persona que me cambió la vida.....*

*A mi pequeño **Jasiel**.....*

*Por llegar a mi vida, porque durante los años de mi juventud jamás imaginé que pudiera sentir en mi corazón un sentimiento tan profundo como el que me haces sentir a diario. Ahora que te veo crecer y convertirte en un niño, quiero decirte que el mundo, aunque es oscuro y peligroso, guarda maravillas increíbles que puedes descubrir, que la felicidad es una manera de ver la vida y jamás una meta y que siempre te acompañaré en el camino que decidas recorrer.*

***Gracias...***

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	XII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	XIII
<b>RESUMEN</b> .....	XVI
<b>ABSTRACT</b> .....	XVII
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	3
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
4.1. Antecedentes.....	4
4.2. Clasificación Taxonómica.....	5
4.3. Mercado nacional e internacional.....	6
4.4. Descripción botánica.....	6
4.5. Híbridos.....	10
4.6. Manejo Agronómico.....	11
4.7. Macronutrientes no minerales.....	14
4.8. Macronutrientes minerales.....	15
4.9. Micronutrientes.....	21
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	28
5.1. Área de estudio.....	28

5.2. Híbrido var. 1291 Valles Altos.....	30
5.3 Establecimiento del experimento.....	30
5.4. Tratamientos.....	31
5.5 Diseño experimental y análisis estadístico.....	35
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
6.1 Longitud de mazorca (LM).....	37
6.2. Diámetro de mazorca (DM).....	38
6.3. Peso seco de mazorca con brácteas (PSMB).....	39
6.4. Peso seco de mazorca sin brácteas (PSMSB).....	40
6.5. Numero de hileras (NH).....	41
6.6. Numero de granos por hilera (NGH).....	42
6.7. Peso de 100 gramos (PG).....	43
6.8. Productividad en kg/ha (kg/ha).....	44
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>
<b>X. ANEXOS.....</b>	<b>51</b>

---

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
<b>Cuadro 1</b>	Variedades botánicas de <i>Zea mays</i> en función de forma y composición del grano.....	11
<b>Cuadro 2</b>	Requerimientos y extracción de nutrientes en grano para producir una tonelada de grano de maíz.....	26
<b>Cuadro 3</b>	Unidades de nutrientes aplicadas por ha.....	31
<b>Cuadro 4</b>	Descripción de los fertilizantes-tratamientos.....	32
<b>Cuadro 5</b>	Ilustración del diseño experimental bloques completamente al azar...	33
<b>Cuadro 6</b>	Descripción morfoagronómica de la mazorca y grano de maíz híbrido <i>var.</i> 1291.....	35
<b>Cuadro 7</b>	Descripción del diseño experimental bloques completamente al azar.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b>	Estructura botánica de la planta de maíz.....	7
<b>Figura 2</b>	Ley del mínimo por Liebig.....	13
<b>Figura 3</b>	Deficiencia de nitrógeno en maíz.....	16
<b>Figura 4</b>	Deficiencia de fósforo en maíz.....	17
<b>Figura 5</b>	Deficiencia de potasio en maíz.....	18
<b>Figura 6</b>	Deficiencia de calcio en maíz.....	19
<b>Figura 7</b>	Deficiencia de magnesio en maíz.....	20
<b>Figura 8</b>	Deficiencia de azufre en maíz.....	21
<b>Figura 9</b>	Deficiencia de hierro en maíz.....	22
<b>Figura 10</b>	Deficiencia de manganeso en maíz.....	22
<b>Figura 11</b>	Deficiencia de boro en maíz.....	23
<b>Figura 12</b>	Deficiencia de cobre en maíz.....	24
<b>Figura 13</b>	Deficiencia de zinc en maíz.....	24
<b>Figura 14</b>	Comportamiento de las curvas de extracción de N-P-K en planta de maíz.....	27

<b>Figura 15</b>	Localización geográfica del área de estudio.....	28
<b>Figura 16</b>	Identificación de las variables respuesta. <b>A)</b> Diámetro de mazorca; <b>B)</b> Longitud de mazorca de mazorca (LM), número de hileras (NH) y número de granos (NG).....	35
<b>Figura 17</b>	Longitud de mazorca expuesta a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Sulfato de amonio y Urea).....	37
<b>Figura 18</b>	Diámetro de mazorca expuesta diferentes a fertilizaciones (Nitro perfecto, Urea Nitro K Reabone, y Sulfato de amonio).....	38
<b>Figura 19</b>	Peso seco de mazorca con brácteas expuesta a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Sulfato de amonio y Urea).....	39
<b>Figura 20</b>	Peso seco de mazorca sin brácteas expuesta a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio).....	40
<b>Figura 21</b>	Numero de hileras expuestas a diferentes fertilizaciones (Urea, Nitro perfecto, Nitro K Reabone y Sulfato de amonio).....	41
<b>Figura 22</b>	Granos por hilera expuestas a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio).....	42

**Figura 23** Peso de 100 granos a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio)..... 44

**Figura 24** Productividad en kg/ha a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio)..... 45

---

# EVALUACIÓN DE CALIDAD Y RENDIMIENTO DE MAÍZ HVA1291 VALLES ALTOS EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN

## RESUMEN

El maíz es una gramínea nativa de América Central, la región comenzó en el centro de México y se extendió a América del Sur. Desde la domesticación, el maíz se ha convertido en una parte básica de la dieta de la población (principalmente mexicanos), las pinturas rupestres y los manuscritos florentinos prueban sus raíces sociales y culturales y citan algunos ejemplos, que han mostrado importancia desde la antigüedad. Para el 2020, el área registrada de siembra de maíz irrigada y temporal en el estado de Puebla será de 19,436 hectáreas, en comparación con 13,001 hectáreas en 2019 y 18,672 hectáreas en 2018. El experimento se ubicó en el barrio. El Honguito, perteneciente a la cabecera municipal de Chignahuapan, Puebla; se realizó bajo un diseño experimental en bloques completamente al azar con cinco repeticiones y cuyos tratamientos evaluados fueron: T1; Nitro Perfecto, T2; Nitro K Reabone, T3; Urea 46-0-0, T4; Sulfato de amonio 21-00-24 y el Tt; Testigo. La calidad y rendimiento fue medido a través de ocho variables respuesta; longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), peso seco de mazorca (PSMB) con brácteas, peso seco de mazorca sin brácteas (PSMSB), número de hileras (NH), número de granos por hilera (NGH), peso de 100 granos (PGM) y productividad en kg/ha. Se utilizó un análisis de varianza con pruebas de comparación de medias por Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ). Los resultados sugieren que los fertilizantes que mostraron mejor calidad y productividad fueron el T1 Nitro Perfecto y el T2 Nitro K Reabone. Por otra parte, los T3 Urea y T4 Sulfato de Amonio no muestran diferencia significativa. Con ello podemos concluir que los fertilizantes “nueva generación” presentan mejor respuesta productiva frente a los “convencionales” en el aumento de la calidad y productividad del maíz.

**Palabras clave:** Mejoramiento en granos, Nutrición nitrogenada, Productividad, Urea, *Zea mays*.

# EQUALITY AND YIELD EVALUATION OF CORN HVA1291 VALLES ALTOS IN RESPONSE TO FERTILIZATION

## SUMMARY

Maize is a grass native from Central America, the region began in central Mexico and spread to South America. Since domestication, corn has become a basic part of the diet of the population (mainly Mexicans), cave paintings and Florentine manuscripts prove its social and cultural roots and cite some examples, which have shown importance since ancient times. By 2020, the registered irrigated and rainfed corn planting area in the state of Puebla will be 19,436 hectares, compared to 13,001 hectares in 2019 and 18,672 hectares in 2018. The experiment was located in the neighborhood El Honguito, belonging to the municipal capital of Chignahuapan, Puebla; it was conducted under a completely randomized block experimental design with five replications and the treatments evaluated were: T1; Nitro Perfecto, T2; Nitro K Reabone, T3; Urea 46-0-0, T4; Ammonium sulfate 21-00-24 and Tt; Control. Quality and yield were measured through eight response variables; cob length (CL), cob diameter (CD), cob dry weight (CDWB) with bracts, cob dry weight without bracts (CDWWB), number of rows (NR), number of grains per row (NGR), weight of 100 grains (WGC) and productivity in kg/ha. An analysis of variance with Tukey mean comparison tests ( $\alpha \leq 0.05$ ) was used. The results suggest that the fertilizers that showed the best quality and productivity were T1 Nitro Perfecto and T2 Nitro K Reabone. On the other hand, T3 Urea and T4 Ammonium Sulfate showed no significant difference. Thus, we can conclude that the "new generation" fertilizers show a better productive response compared to "conventional" fertilizers in increasing the quality and productivity of corn.

**Key words:** Grain improvement, Nitrogen nutrition, Productivity, Urea, *Zea mays*.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es una gramínea originaria de Mesoamérica, región que comenzaba en el centro de México y se extendía hasta Sudamérica. Actualmente en esta zona se encuentran los valles de Oaxaca y Tehuacán, dónde se cree que fue su centro de origen y distribución hace más de 10,000 años. Mientras tanto, se considera que la cruce del teocintle con algunas variedades silvestres dio origen a la mazorca actual (Asturias, 2004).

A partir de su domesticación, el maíz forma parte fundamental de la dieta de la población, principalmente mexicana. El arraigo sociocultural es evidenciado en las pinturas rupestres y el códice Florentino por mencionar algunos ejemplos, dónde se muestra la importancia desde tiempos remotos (Wellhausen *et al.*, 1951). La relación forjada entre el maíz y el ser humano ha evolucionado paralelamente, a tal grado que para la población mexicana es más importante lo representativo con respecto a lo económico (Flores *et al.*, 2014).

El SIAP (2020a), reporta que para el mes de enero la superficie de siembra de maíz de riego y temporal fue de 976,124has, dónde sólo se cosecharon 4,727has. Esto representa únicamente el 0.48% de lo cosechado a nivel nacional y el 0.88% de rendimiento. De acuerdo con estas cifras, la rentabilidad en la producción de maíz a nivel nacional se encuentra por debajo de los estándares óptimos para considerarlo como una actividad productiva rentable.

Para el año 2020, en el estado de Puebla se registró una superficie de siembra de maíz de riego y temporal de 19,436has, mientras que en el año 2019 se sembró una superficie de 13,001has y en 2018 se contabilizaron 18,672has sembradas (SIAP, 2020b). Los años anteriores al 2020 reportan un incremento continuo con algunos años aislados que presentan decremento en las superficies sembradas, tal como ocurrió en el 2019 dónde en lugar de incrementar, la producción se redujo en 5,671has en comparación con el 2018 (SIAP, 2020a).

Esta situación se observa en diferentes estados de país dónde el cambio de uso de suelo sustituye al cultivo de maíz por diferentes actividades productivas, reduciendo su diversidad genética. Por ello, las dependencias gubernamentales deben establecer acciones que beneficien a pequeños productores que ven mermado el mercado, el cual es abastecido por aquellos que cuentan con superficies mayores (Venegas, 2016).

Considerando que la mayoría posee superficies menores a 2 hectáreas, la producción se destina al autoconsumo, el cual tiene un promedio per cápita anual de 119.4 kilogramos entre la población mexicana (SIAP, 2020c). Esta situación se convierte en una limitante para que los pequeños productores busquen estrategias que apoyen al incremento de la rentabilidad del cultivo debido a que no va destinado al mercado. Los excedentes tienden a ser comercializados localmente, sin embargo, los mercados nacionales se encuentran saturados y por ende el precio es muy castigado.

Debido a ello, el estudio realizado se enfoca a apoyar a pequeños productores de la región de Chignahuapan por medio del uso de fertilizantes químicos que se basan en la adopción de nuevas tecnologías enfocadas al incremento de la calidad y productividad del maíz. Este estudio se basará en el análisis de la respuesta productiva frente a la aplicación de productos utilizados comúnmente en la región versus fertilizantes con nuevas moléculas.

## **1.1 Planteamiento del problema**

¿Pueden las fertilizaciones “nueva generación” sustituir la fertilización convencional en el cultivo de maíz, en la región de Chignahuapan, Puebla; de tal forma que el rendimiento de grano se incremente a partir de nuevas formulaciones?

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar el rendimiento en producción de maíz HVA1291 valles altos en función a la aplicación de fertilizantes “convencionales” *versus* fertilizantes “nueva generación” como propuesta en el barrio el Honguito, Chignahuapan.

### **2.2Objetivos específicos**

**2.2.1.** Evaluar la calidad y rendimiento de maíz HVA1291 mediante la valoración de caracteres morfométricos; largo de mazorca, diámetro de mazorca, peso seco de mazorca

con brácteas, peso seco de mazorca sin brácteas, número de hileras, número de granos por hilera, peso de 100 granos y productividad en kg/ha en función de los fertilizantes.

**2.2.2.** Analizar la aplicación de cuatro fertilizantes nitrogenados; Nitro K floración, Nitro perfecto, Urea, Sulfato de amonio en maíz HVA1291 Valles Altos como alternativa productiva.

### **III. HIPÓTESIS**

Los fertilizantes “nueva generacion” Nitro K floración y Nitro perfecto *versus* fertilizantes “convencionales” Sulfato de amonio Y Urea presentan mejor respuesta en calidad y rendimiento en maíz HVA1291 valles altos.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Antecedentes

A partir de la domesticación entre los años 800 y 600 a. de C, el maíz forma parte importante del desarrollo sociocultural y económico de México. De acuerdo con los primeros registros proporcionados por Cristóbal Colón durante su viaje a Cuba, el centro de origen del maíz se localizó en ese país debido a que ahí fue donde vio por primera vez una mazorca (Acosta, 2009).

Mientras tanto, en México existen tres regiones estudiadas; Tamaulipas, Tehuacán y el valle de Oaxaca, dónde se registran cuevas altas y secas con semillas de maíz y restos orgánicos que generan teorías acerca de su origen y domesticación (Museo Nacional de Culturas Populares, 1982). Las pinturas rupestres encontradas en áreas dónde anteriormente se estableció la región de Mesoamérica señalan como centro de origen al valle de Tehuacán (Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán). De hecho, en esta región se encuentra la “cueva de maíz” dónde fueron encontrados algunos restos orgánicos (Acosta, 2009).

A pesar de que el maíz es muy estudiado todavía no se definen las variedades pioneras de las cuales descende, pero se cree que la cruce del teocintle con algunas otras variedades silvestres dio origen a la mazorca actual (Museo Nacional de Culturas Populares, 1982).

Además, la manipulación del teocintle, el desplazamiento y establecimiento de las culturas prehispánicas, así como algunas condiciones ambientales como la altitud, latitud, clima y fueron algunos factores determinantes en el proceso de formación del fenotipo y genotipo, propiciando una amplia variabilidad genética (Museo Nacional de Culturas Populares, 1982).

En Mesoamérica no sólo se originó el maíz son también el frijol y la calabaza, por lo tanto, después de volverse sedentarios comenzaron a sembrar estos tres cultivos, adoptando la agroforestería como sistema producción (Museo Nacional de Culturas Populares, 1982).

El maíz ha formado parte fundamental no sólo de su economía sino de aspectos socioculturales y cosmovisión de los pueblos indígenas, las culturas prehispánicas y más recientemente algunas sociedades basan su desarrollarlo en el cultivo. Se estima que los primeros agricultores provienen de aquellos cazadores y recolectores que habitaron hace aproximadamente unos 35 mil años (Carrillo, 2009).

La evolución del maíz ha sido paralela al desarrollo del hombre, así como también lo han sido las técnicas de cultivo. Sin bien, es cierto que a través de la historia muchas culturas han transformado y otras más han desaparecido, no cabe duda que cada una de ellas ha sabido entablar un lazo fundamental con el maíz (Museo Nacional de Culturas Populares, 1982).

Tal es el caso que la población la considera como una planta sagrada anteponiendo a la economía. Si el hombre deja de cultivar el maíz, este desaparecería inmediatamente debido a que es el único cereal que no es capaz de reproducirse por sí sólo (Museo Nacional de Culturas Populares, 1982).

#### 4.2 Clasificación taxonómica

El maíz cuenta con una amplia gama de variedades distribuidas por todo el mundo e incluso los registros muestran que actualmente se pueden encontrar más de 600 géneros (Prontuario de Agricultura, 2005; Kato et al., 2009; Acosta et al., 2013 y Valladares, 2010).

Reino ----- *Vegetal*

Subreino ----- *Tracheobionta*

División ----- *Magnoliophyta*

Clase ----- *Liliopsida*

Subclase ----- *Commelinidae*

Orden ----- *Poales*

Familia ----- *Poaceae*

Subfamilia ----- *Panicoideae*

Tribu ----- *Maydeae*

Género ----- *Zea*

Especie ----- *Z. mays*

### **4.3. Mercado nacional e internacional**

En México, el maíz es el grano con mayor relevancia en el mercado y en el ámbito político, la relación entre el maíz y los mexicanos se considera milenaria debido a que desde su domesticación ha constituido la base de la alimentación diaria de los mexicanos, además de que su uso es diversificado, desde forrajes y granos lo cual constituye la base de diversos alimentos (Venegas, 2016).

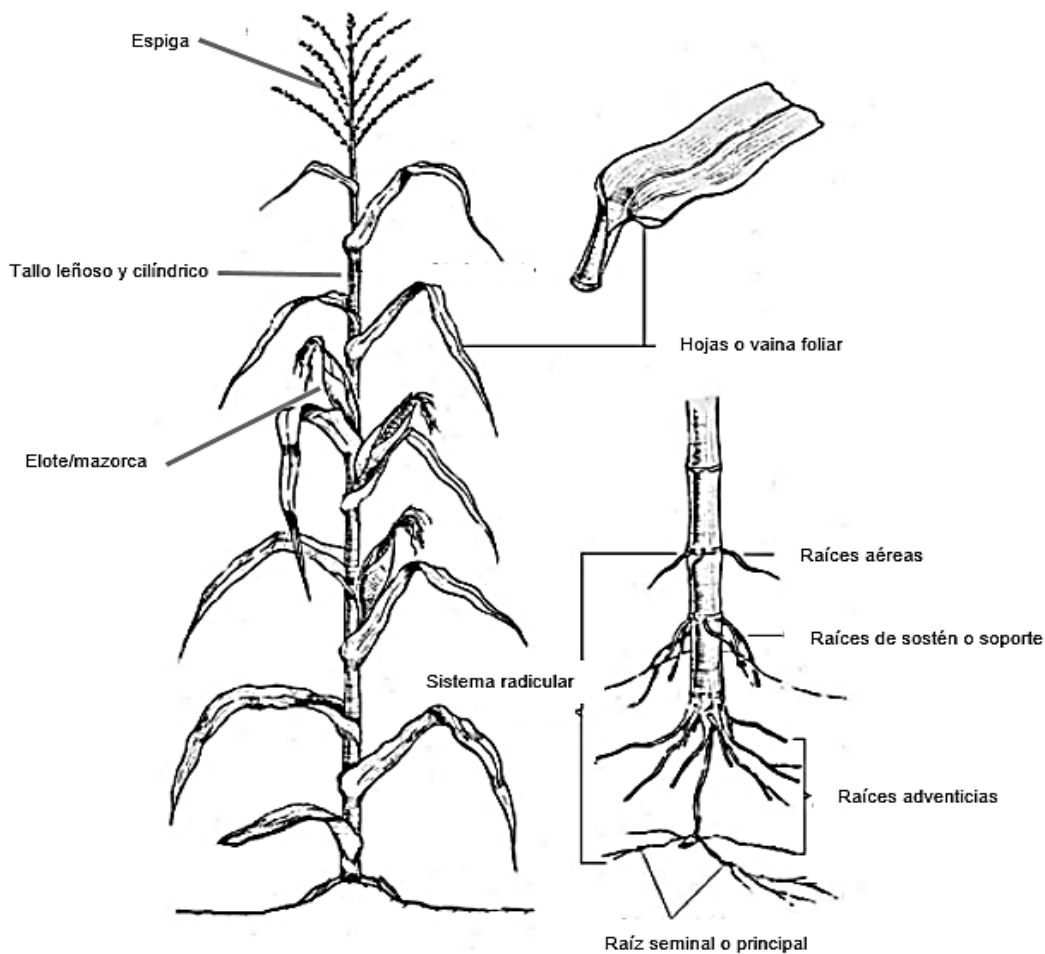
México, está consolidado como el principal consumidor de maíz en el mundo, no así en términos de producción y comercialización aun y cuando el maíz es el principal cultivo en México; participa con el 18 % del valor de producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil en 2013) y concentra el 33 % de la superficie sembrada en el territorio nacional, es decir 7.5 millones de hectáreas. El volumen de producción de maíz en 2012 alcanzó 22.1 millones de toneladas y se estima que para 2013 se alcanzaron 22.7 millones. Mientras que la superficie de temporal ocupa el 74% de la superficie, aporta únicamente el 40% del valor generado. El 8% de la producción nacional corresponde a maíz amarillo, del cual México es deficitario e importa entre 7 y 10 millones de toneladas. Mexico ocupa el 2° lugar con el mayor volumen de importaciones del grano internacionalmente, lo cual lo vuelve vulnerable ante cualquier alteración de la oferta mundial (Venegas, 2016).

Según el SIAP (2019) se sembraron 1,263,149 hectáreas de maíz de las cuales se cosecharon solo 1,249,735 hectáreas lo cual representó una pérdida de 13,414 hectáreas con un rendimiento de 7.008 ton/ha. De estas hectáreas sembradas Puebla realiza 21,163 hectáreas de acuerdo con la información se cosecharon esas hectáreas en su totalidad con 44,032 toneladas de grano en un rendimiento promedio de 2.081 ton/ha.

### **4.4 Descripción botánica**

El maíz es una gramínea monocotiledonea, hermafrodita, monoica de ciclo anual y de porte robusto de fácil desarrollo, la altura de la planta oscila entre los 0.40m (enanas) hasta 8 metros (gigantes). El maíz es una planta que posee dos tipos de inflorescencia: la masculina y la femenina. La primera es una panícula semiramificada localizada al final del tallo, formada por varios ejes sobre los que insertan pares de espiguillas con dos flores y cuyos pistilos han abortado. Mientras que la inflorescencia femenina está constituida por flores

agrupadas sobre una o varias espigas insertas en la axila de las hojas inferiores del tallo. Se compone de órganos de nutrición; raíz, tallo, hojas y órganos de producción; flores, fruto y semillas, figura 1 (Maroto, 1998; Prontuario de agricultura, 2005; Valladares, 2010 y CONACYT 2020).



**Figura 1.** Estructura botánica de la planta de maíz (Tomado de Valladares, 2010).

#### 4.4.1. Órganos de nutrición

##### 4.4.1.1. Raíz

La raíz del maíz es fasciculada y sus funciones son aportar anclaje y proveer de nutrientes a la planta. Además, está provisto de raíces aéreas o adventicias que se encuentran sobre el nivel del suelo y se observan cuando la planta sobrepasa los 0.5m (Prontuario de agricultura, 2005 y Valladares, 2010).

#### **4.4.1.2. Tallo**

El tallo es erecto, leñoso, cilíndrico, robusto, sin ramificaciones y compuesto entre 14( $\pm$ 8) nudos y entrenudos. En los nudos se encuentra una hoja y una yema en la base del entrenudo. Sin embargo, estas yemas axilares localizadas en la parte inferior no emiten tallos, por lo tanto, no representa interés en el maíz para la progenie como ocurre con algunos otros cereales. Regularmente, el diámetro del tallo es de 3 a 4cm, conforme llega al ápice este disminuye, llegando a alcanzar una altura de hasta 4m dónde almacena las reservas fotosintéticas de la hoja (Prontuario de agricultura, 2005; Valladares, 2010).

#### **4.4.1.3. Hojas**

Las hojas son vainas largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias o rectinervias y cilíndricas que sirven de cubierta para los entrenudos, presenta vellosidad en el haz y los extremos de las hojas son afilados. Tienen un limbo que llega a medir 80cm de largo y 10cm de ancho con una vaina envolvente con una lígula corta y ciliada (Prontuario de agricultura, 2005; Valladares, 2010).

### **4.4.2. Órganos de producción**

#### **4.4.2.1. Flores**

El maíz es una planta monoica, es decir, presenta inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. La inflorescencia masculina es una panícula de coloración amarilla que contiene de 20 a 25 millones de granos de polen aproximadamente. Cada flor de la panícula contiene tres estambres donde se desarrolla el polen. Las yemas se localizan en los entrenudos y dan origen al desarrollo de 1 a 3 mazorcas. Aquí se encuentran los ovarios que cuentan con largo estilo (pelo, cabello o barba) que sobresalen de las hojas de la mazorca. Para la reproducción, el polen cae sobre el estilo y llega al ovario para que se produzca la fecundación. Mientras que las espigas masculinas producen polen que es transportado por el viento para la fecundación cruzada. La mazorca está constituida por un raquis engrosado o zuro sobre el que se insertan dos espiguillas bifloras por nudo, de las cuáles sólo la superior es fértil. Los estambres de esta flor han abortado y su ovario porta un largo estilo, denominado seda. Estas flores carecen de glumas y

glumillas. La mazorca es de forma alargada y cilíndrica, varía sus dimensiones en función de las variedades y condiciones de alimentación de la planta. La fecundación es alogama y generalmente el grano de polen madura antes que el estigma de la flor femenina sea receptivo (Prontuario de agricultura, 2005; Valladares, 2010).

#### **4.4.2.2 Frutos**

En el maíz, al grano se le considera el fruto y también se le conoce como cariósipide el cual se encuentra a razón de 600 a 1000 por mazorca, se concentran en un promedio de 14 hileras sobre el olote y son dentados o semidentados, cristalinos u opacos y de color blanco o amarillo y violáceo dependiendo de la variedad. Este color está relacionado con el tipo de polen que lo fecunda (Valladares, 2010).

#### **4.4.2.3. Semillas**

La cubierta de la semilla (fruto) se llama pericarpio, es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona que le da color al grano (blanco, amarillo, morado), contiene proteínas y en su interior se halla el endospermo con el 85-90% del peso del grano (Valladares, 2010).

#### **4.4.2.4. Maíces criollos**

México es un país megadiverso en donde se pueden encontrar algunas variedades de maíz criollo. Principalmente, se conocen tres géneros de origen americano y cinco de procedencia Asiática, pero uno de mayor importancia. En el territorio nacional se reconocen el género *Zea*, *Tripsacum*, *Euchlaena* y el asiático Coix, el cual se localiza en regiones tropicales de México y es utilizado como forraje. El género *Tripsacum* se distribuye por América central, especialmente en Brasil y el *Euchlaena* o teocintle se puede encontrar en México y Guatemala como forrajera o perenne. La importancia de esta última radica en la adjudicación en varios estudios como pionera de la mazorca actual. Algunas variedades de maíz se describen en el **cuadro 1**, así como la composición y función (Valladares, 2010).

**Cuadro 1.** Variedades botánicas de *Zea mays* en función de forma y composición del grano.

Composición del almidón	Textura del grano	Nombre	Forma del grano y destino
Amilopectina (casi en exclusiva)		<i>Zea mays saccharata</i> Maíz dulce (Sweet corn)	Translúcido. Se consume fresco en conserva.
		<i>Zea mays cerotina</i> Maíz ceroso (Waxy corn)	Textura viscosa. Algunos usos industriales, especialmente almidón.
75 % de Amilopectina y 25 % de Amilosa	Albumen casi totalmente harinoso	<i>Zea mays amylacea</i> Maíz harinoso (Soft corn)	Grano completamente harinoso. Poco interés económico.
	Albumen harinoso en zona central y vítreo en la lateral	<i>Zea mays indentata</i> Maíz dentado (Dent corn)	Grano alargado, con la extremidad superior y zonas laterales deprimidas. Usos industriales.
	Albumen vítreo sobre la capa externa. Albumen harinoso en el centro	<i>Zea mays indurata</i> Maíz corneo o vítreo (Flint corn)	Grano redondeado. Maíz duro o córneo de grano liso. Usos industriales.
	Casi exclusivamente albumen vítreo	<i>Zea mays everta</i> (Pop corn)	Grano pequeño. Revienta por el calor. Alimentación humana. Industria.
		<i>Zea mays tunicata</i> Maíz vestido (Pop corn)	Grano vestido (recubierto con las glumas). Poco interés.

Tomado de Prontuario de agricultura, 2005.

#### 4.5. Híbridos

El maíz se ha estudiado en diferentes investigaciones científicas, principalmente en genética. En estudios recientes se analiza su genotipo debido a que se trata de una planta monoica que aporta gran información y posee una parte femenina y una masculina que permite realizar una diversidad de recombinaciones o cruas y crear nuevos híbridos para el creciente mercado. Los objetivos de estos cruzamientos van encaminados a la obtención de altos rendimientos en producción. Por ello, se seleccionan aquellas plantas que presentan

resistencia frente a la virosis, condiciones climáticas, plagas para realizar cruza con otras plantas de maíz que aporten características determinadas como mejora del cultivo. También se selecciona según la forma de la mazorca de maíz a aquellos individuos que posean un elevado contenido de granos sin deformación. Los maíces de procedencia híbrida desarrollan un sistema radicular de mayor profundidad, el cual les permite un mejor anclaje a la planta (Prontuario de agricultura, 2005 y CONACYT, 2020).

#### **4.6. Manejo agronómico**

##### **4.6.1. Preparación de suelo**

La preparación del suelo depende del sistema o tipo de producción utilizado por el productor. La cual es influenciada por factores como la precipitación, tipo de suelo y condición económica del productor. Para el productor el recurso más valioso es el suelo, por lo tanto, debe conservarlo. Una adecuada preparación ayuda a enriquecer y permeabilizar el mismo, controlar malezas y algunas plagas, y permite una buena germinación de la semilla. La práctica de arar todos los años a igual profundidad, compacta el suelo justo por debajo de la profundidad a que se efectúa la arada (pie de arado); este problema, reduce en forma notable el crecimiento de las raíces y el movimiento del agua en el suelo (Prontuario de agricultura, 2005 y CONACYT, 2020).

##### **4.6.2. Época de siembra**

La mejor época de siembra para el cultivo del maíz en el país es del 15 de abril al 15 de junio. El trimestre con los días luz más largos del año comprende los meses de mayo, junio y julio; es en esta época donde el maíz se desarrolla mejor. La siembra tardía del maíz, o sea pasado el período antes indicado, expone al cultivo a una mayor incidencia de plagas y enfermedades; especialmente al virus del “achaparramiento” (Prontuario de agricultura, 2005 y CONACYT, 2020).

##### **4.6.3. Densidad de siembra**

La densidad de población por unidad de área depende de varios factores, entre los más importantes están: fertilidad del suelo, humedad disponible, porcentaje de germinación y características agronómicas de la variedad. En zonas donde los suelos son fértiles y la lluvia

es abundante, deberá sembrarse una mayor cantidad de semilla en comparación con los suelos medianamente pobres y con lluvias escasas y erráticas. Las variedades mejoradas soportan mayor densidad de población en comparación con las variedades criollas. Al sembrar con maquinaria es importante hacer una buena calibración del equipo de siembra con la finalidad de obtener la población deseada. Además, el grano debe quedar a una profundidad de 5 centímetros para que tenga la suficiente humedad para germinar (Prontuario de agricultura, 2005 y CONACYT, 2020).

#### **4.6.4. Control de malezas**

Existen dos momentos para realizar el control de malezas: pre emergente, es decir antes del nacimiento del cultivo y post emergente el cual puede ser realizada con maquinaria, mano de obra personal o productos químicos (Prontuario de agricultura, 2005 y CONACYT, 2020).

#### **4.6.5. Plagas**

Las plagas forman parte de imprescindible de la merma en la producción de maíz en el territorio nacional. Esto ha provocado la realización de diversas investigaciones sobre la prevención y manejo de plagas, por ello el primer paso es identificar las principales plagas que ocasionan daños severos en el cultivo (Prontuario de agricultura, 2005 y CONACYT, 2020).

#### **4.6.6. Cosecha y almacenamiento**

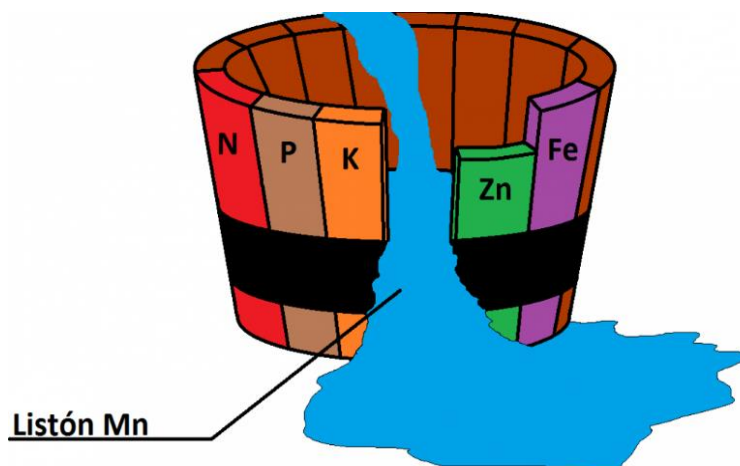
El momento óptimo para la cosecha es cuando el grano ha alcanzado entre 22 y 24 % de humedad, cuando el productor no cosecha su maíz a tiempo, dejándolo en el campo la planta queda expuesta al volcamiento, al daño de roedores y pájaros; las altas precipitaciones o demasiada lluvia inducen a pudriciones de mazorca y germinación del grano. Lo más importante para un buen almacenamiento es que el grano tenga una humedad adecuada, ya que sí es almacenado con mucha humedad se daña fácilmente. Para un buen almacenamiento del grano debe lograrse un equilibrio entre: humedad de grano entre 13 y 14 %, temperatura ambiente entre 25° C y 30o C y una humedad relativa de 70 % (Cruz, 2013).

#### 4.6. Nutrición del maíz

De los 90 elementos químicos que se encuentran presentes en la naturaleza, en las plantas podemos encontrar 60, aunque de todos ellos se consideran como esenciales solo 16, de forma que, si alguno de ellos no está presente la planta no puede cumplir sus funciones y desarrollarse de forma correcta como se muestra en la **Figura 2**, de estos elementos solo el carbono C y el oxígeno O son aportados por el aire, los 14 elementos restantes los absorbe del suelo mediante las raíces (Cruz, 2013).

Cabe mencionar que los elementos esenciales para las plantas se clasifican en dos grupos esenciales como son macronutrientes debido a que su concentración en el tejido vegetal es superior al 0.1% de materia seca. Son C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S. mientras que los micronutrientes su concentración en el tejido vegetal es inferior al 0.01% de materia seca los cuales son Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo y Cl (Cruz, 2013).

Como se mencionó anteriormente, los macronutrientes son requeridos por la planta en mayor cantidad mientras que los micronutrientes tiene una menor demanda en la planta, no obstante cabe resaltar que los micro nutrientes no por ser de menor demanda pueden ser sustituidos o que sean de menor importancia, al igual que los macro nutrientes estos deben estar presentes como lo establece Liebig en la ley del mínimo, donde dice que; el nutriente que se encuentra menos disponible es el que limita la producción, aun cuando los demás estén en cantidades suficientes (Ramos, 2011).



**Figura 2.** Ley del mínimo por Liebig y Bartholomew (J. M. Mateo Feliz, 2020).

#### **4.6.1. Macronutrientes**

Los macronutrientes se dividen en dos grupos ya que los macronutrientes no minerales como el hidrogeno, carbono, oxigeno son parte de la planta ya sea en forma de agua o en forma de celulosa (polisacáridos formados por cadenas de carbono, hidrogeno y oxígeno) por otro lado se encuentran los macronutrientes minerales que se encuentran en mayor cantidad en las plantas y que se pueden portar por medio de fertilización, este segundo grupo cuenta con dos subdivisiones las cuales son macronutrientes minerales primarios entre los que destacan el Nitrógeno, Fosforo y Potasio mientras que los macronutrientes minerales secundarios se encuentran el Calcio, Magnesio y Azufre (Rodríguez, 2004)

#### **4.7. Macronutrientes no minerales**

##### **4.7.1. Carbono**

Es el elemento constituyente de distintas sustancias necesarias para la vida de las plantas como son los hidratos de carbono (fibras, almidones, azúcares) lípidos y proteínas (enzimas, hormonas etc.) (Almeraya y Sánchez, 2015).

##### **4.7.2. Hidrógeno**

El hidrógeno en las plantas se encuentra principalmente en el agua y este es un elemento esencial en la fotosíntesis, además de que favorece el movimiento de los macronutrientes minerales dentro del tejido de la planta y para unir las distintas fibras de la planta que conforman la pared celular (Almeraya y Sánchez, 2015).

##### **5.7.3. Oxígeno**

El oxígeno en las plantas favorece la respiración celular y de igual manera las plantas lo toman del agua mediante el proceso de la fotosíntesis (Almeraya y Sánchez, 2015).

## **4.8. Macronutrientes minerales**

### **4.8.1. Nitrógeno**

Es absorbido por las raíces de las plantas, preferentemente, en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Los factores que influyen en la absorción de este elemento por parte de la planta son: la especie y el tipo de planta la intensidad lumínica, la presencia de nitrógeno en el medio y la cantidad de nitrógeno almacenado en las vacuolas (Almeraya y Sánchez, 2015).

Una de las funciones más importantes del nitrógeno es la de tener una acción directa sobre el incremento de la masa seca porque favorece el desarrollo del tallo, el crecimiento del follaje y contribuye en la formación de frutos y granos. Sin embargo, un exceso de este elemento provoca un crecimiento excesivo del follaje, un escaso desarrollo en el sistema radical y un retardo en la formación de flores y frutos. La deficiencia de este elemento provoca una clorosis en las hojas inferiores y en caso de deficiencias agudas, éstas caen prematuramente y la clorosis se generaliza en toda la planta. En hortalizas como la lechuga, el jitomate y el apio la deficiencia de nitrógeno se manifiesta en hojas pequeñas y de color verde amarillento (Perdomo y Barbazán, 1992).

Cuando esto sucede se produce una competencia interna dentro de la planta que determina la movilización del N desde los órganos de mayor edad cronológica (por ejemplo, hojas viejas) hacia los órganos más jóvenes. Si la planta se encuentra en la fase reproductiva, el N es traslocado preferentemente hacia los frutos. Esto determina que los síntomas de deficiencia de N aparezcan en las hojas más viejas. Por esto, generalmente las hojas basales se tornan amarillentas. Incluso se ha sugerido que esta característica de las plantas sea utilizada para cuantificar el nivel de deficiencia de N que ha sufrido el cultivo de maíz (Binford y Blackmer, 1993).



**Figura 3.** Deficiencia de nitrógeno en maíz (Intagri, 2020)

#### **4.8.2. Fosforo**

El fósforo es absorbido predominantemente como anión monovalente fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y en menor cantidad como anión divalente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). La presencia de una u otra forma iónica depende del pH. El  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  se encuentra en un pH entre 4.5 y 7 y el  $\text{HPO}_4^{2-}$  se encuentra a pH básico. En un pH alcalino la disponibilidad del fósforo está limitada por la formación de fosfatos de calcio, no aprovechables por las plantas. Igualmente, en condiciones de pH bajo, la alta solubilidad del aluminio y del hierro precipitan el fósforo, limitando la disponibilidad de este elemento para las plantas (Fernández, 2007).

El fósforo juega un papel importante en el metabolismo energético de la planta, porque hace parte de las moléculas AMP, ADP y ATP. Forma parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN y, además, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón. El fósforo también forma parte de otros compuestos como el ácido fítico, importante en la germinación de semillas y en el desarrollo de la raíz (Fernández, 2007).

La deficiencia de fósforo afecta el desarrollo debido a que la producción de proteínas es muy baja y la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa se reducen. Un efecto notorio de la deficiencia de fósforo es la reducción en la expansión celular, razón por la cual, las plantas

pueden presentar enanismo. El fósforo se encuentra en mayor proporción en las hojas jóvenes, flores y semillas en desarrollo (Fernández, 2007).



**Figura 4.** Deficiencia de fósforo en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.8.3. Potasio**

El potasio es un catión univalente ( $K^+$ ) y junto con el nitrógeno son absorbidos en grandes cantidades por las plantas. La mayor parte del potasio absorbido depende de la difusión del elemento y de otros factores, como contenidos muy altos de calcio y magnesio, los cuales disminuyen la absorción del potasio (Larriva, 2003).

Este nutrimento mineral es el más abundante en el citoplasma, y su importancia fisiológica radica en el papel que juega en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. Por otra parte, contribuye a la economía del agua porque regula la apertura estomatal, importante para la absorción de  $CO_2$  y el control de la transpiración. Así mismo, aumenta la velocidad de reacción en más de 50 enzimas y, en algunos casos, aumenta la afinidad por el sustrato. Entre las enzimas sobre las cuales actúa el potasio, se encuentra la piruvato quinasa, enzima esencial en la respiración y en el metabolismo de los carbohidratos (Larriva, 2003).

En plantas deficientes de potasio hay disminución en los niveles de almidón y aumento de compuestos nitrogenados solubles. La deficiencia de este nutriente produce un estancamiento en el desarrollo de la planta: los entrenudos de los tallos son cortos y los

tallos resultan débiles, así mismo, la producción de granos y frutos se ve afectada. En el fruto, la presencia de potasio asegura un buen contenido de azúcares, ácidos y aroma. En forma general, la deficiencia de potasio en frutos disminuye la acidez, aumenta la respiración y por lo tanto, induce el deterioro (Larriva, 2003).



**Figura 5.** Deficiencia de potasio en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.8.4. Calcio**

Es importante tanto como nutrimento para mantener las condiciones físicas del suelo. Favorece el desarrollo de las raíces y también neutraliza los ácidos tóxicos, además de que ayuda en la división celular. De las bases intercambiables en el suelo (K, Ca, Mg, y Na), el Ca es el dominante, llegando al 80% del total. El Ca es absorbido por las plantas como  $\text{Ca}^{+2}$ , parte del cual se fija en las paredes de los tejidos de las plantas como sal de Ca (Díaz *et al.*, 2007).

Con la deficiencia de calcio las hojas grandes y más antiguas comienzan a presentar síntomas carenciales. A menudo no se trata de las hojas más bajas sino de las inmediatamente superiores (igual que en caso de una falta de magnesio). La deficiencia de calcio se reconoce por la formación de manchas amarillas/marrones que habitualmente presentan un estrecho contorno marrón bien definido. Además, se frena el crecimiento y en casos serios resulta en ápices más pequeños que no se cierran del todo (Díaz *et al.*, 2007).



**Figura 6.** Deficiencia de calcio en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.8.5. Magnesio**

El magnesio participa en la composición del suelo, pero en una proporción 1:10 con respecto al calcio. Es el componente básico de la clorofila, la cual es esencial en el proceso de fotosíntesis. Es absorbido por las plantas como  $Mg^{+2}$  y puede aplicarse como producto dentro de un fertilizante o directamente como Mg soluble. La deficiencia de magnesio, al igual que cualquier deficiencia, conduce a una reducción en el rendimiento. También conduce a una mayor susceptibilidad de la planta a enfermedades mayores (Alemán *et al.* 2017).

Debido a que el magnesio es un elemento más móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas inferiores y mayores. El primer síntoma es hojas pálidas, que luego desarrollan una clorosis intervenal. En algunas plantas aparecerán manchas rojizas o púrpuras en las hojas. La expresión de los síntomas depende en gran medida de la intensidad a la que las hojas se exponen a la luz. Las plantas con deficiencias que están expuestas a altas intensidades de luz mostrarán síntomas aún mayores (Alemán *et al.* 2017).



**Figura 7.** Deficiencia de magnesio en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.8.6. Azufre**

Este elemento es reconocido como nutrimento desde hace más de 130 años. El azufre entra en la planta como ión  $SO_4$  y es un constituyente de las proteínas, hormonas de crecimiento y aminoácidos. En el tratamiento del fósforo con ácido sulfúrico para formar el superfosfato se forma yeso por reacción. Esta cantidad de sulfato no es removido del superfosfato normal, lo que hace que el producto utilizado por los agricultores tenga un 12 % de azufre. Actualmente más cantidad de S es removido del superfosfato, ya que es éste puede contener minerales radioactivos (Sabino *et al.*, 2007).

Las deficiencias de azufre son más probables en los suelos arenosos con bajo nivel de materia orgánica (menos del 2 %) y en condiciones de alta precipitación. Sin embargo, en suelos con alto contenido de materia orgánica, a menudo, la descomposición de la materia orgánica y el proceso de mineralización no son lo suficientemente rápidos para cumplir con el requerimiento de azufre del cultivo (Sabino *et al.*, 2007).

El azufre es inmóvil en las plantas y no es fácilmente translocado de las hojas más maduras a las hojas jóvenes. Por lo tanto, la deficiencia de azufre aparece primero en las hojas más jóvenes. Los síntomas de deficiencia de azufre aparecen como clorosis en hojas jóvenes (color verde pálido a amarillo). Las plantas deficientes son más pequeñas y su crecimiento es lento. Los síntomas pueden variar entre especies de plantas. Por ejemplo, en el cultivo de

maíz, la deficiencia de azufre aparece como clorosis internerval en las hojas jóvenes (Sabino *et al.*, 2007).



**Figura 8.** Deficiencia de azufre en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.9. Micronutrientes**

El papel de los micronutrientes es sumamente importante, debido a que su desempeño en las plantas interviene directamente en la función de los macronutrientes. Los micronutrientes aun en cantidades pequeñas son indispensables, una deficiencia o un exceso conlleva a tener consecuencias. Por lo que llevar una verificación de su presencia en la planta es indispensable. Recordemos que, una planta bien nutrida, es una planta vigorosa y con capacidad productiva (Sabino *et al.*, 2007).

##### **4.9.1. Hierro**

Es necesario para la formación de la clorofila, es un constituyente importante de algunas proteínas y enzimas. Es catalizador en los procesos de oxidación y reducción de la planta. El síntoma más apreciable por deficiencia de hierro en las plantas es una fuerte clorosis, así mismo se nota un color más verde en las nervaduras de las hojas debido a que la concentración de hierro es más alta en ese sitio, otro efecto es que la raíz reduce su crecimiento y falta de pelos radicales además de que limita la aparición de brotes nuevos en la planta (Benavides, 1999).



**Figura 9.** Deficiencia de hierro en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.9.2. Manganese**

Influye en el aprovechamiento del nitrógeno por la planta, actúa en la reducción de los nitratos. Importante en la asimilación del anhídrido carbónico (fotosíntesis) y en la formación de caroteno, riboflavina y ácido ascórbico. Los síntomas de deficiencia de manganeso, que a menudo se asemejan a los de la deficiencia de hierro, son: clorosis intervenal (hojas amarillas con venas verdes) en las hojas jóvenes y, en ocasiones, manchas bronceadas hundidas en las áreas cloróticas intervenales. También el crecimiento de las plantas puede verse disminuido y retrasado. La deficiencia de manganeso puede surgir cuando el pH del sustrato de cultivo es superior a 6.5, pues dicho elemento es fijado y pierde disponibilidad para su absorción (Gómez *et al.*, 2017).



**Figura 10.** Deficiencia de manganeso en maíz (Intagri, 2020).

### 4.9.3. Boro

Se relaciona con el transporte de azúcares en la planta. Afecta la fotosíntesis, el aprovechamiento del Nitrógeno y la síntesis de proteínas. Interviene en el proceso de floración, polinización, cuajado de fruto, mejora del grano de polen y en la formación del sistema radical de la planta además de regular su contenido de agua. Una forma general para la identificación de la deficiencia de boro es cuando hay un mal desarrollo de los tejidos meristemáticos este se hace presente tanto en la raíz como en los brotes. En los primeros síntomas se notarán dificultades en la división y el desarrollo celular, aun que estas se dividen la separación no se realiza de una forma completa por lo tanto las hojas se notaran deformes además de una escases radical y una mala polinización por lo tanto un rendimiento bajo de cosecha (Alarcón, 2001).



**Figura 11.** Deficiencia de boro en maíz (Intagri, 2020).

### 4.9.4 Cobre

Catalizador para la respiración y constituyente de enzimas. Interviene en el metabolismo de carbohidratos y proteínas y en la síntesis de proteínas. La deficiencia de cobre se manifiesta en las hojas más viejas de la planta, estas comienzan a enrollarse lo que hace ver una planta marchita aun cuando las hojas y tallos se encuentran turgentes si la deficiencia continua los brotes nuevos se notan flácidos y las hojas maduras comienzan con un desarrollo clorótico difuso (Villegas *et al.*, 2015).



**Figura 12.** Deficiencia de cobre en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.9.5 Zinc**

Interviene en la formación de hormonas que afectan el crecimiento de las plantas. Participa en la formación de proteínas. Si no hay una cantidad adecuada de zinc en la planta, no se aprovechan bien el nitrógeno ni el fósforo. Favorece un mejor tamaño de los frutos.

Entre los principales síntomas visibles asociados con una deficiencia de zinc en las plantas, se encuentran la disminución en el tamaño del organismo y de sus hojas manchas amarillas o cafés en las mismas, inclusive llegan a morir los ápices (puntas) de las hojas y ramas, poco desarrollo de las flores y afectación del tubo polínico para el proceso de fecundación (Amezcuca y Lara, 2017).



**Figura 13.** Deficiencia de zinc en maíz (Intagri, 2020).

#### **4.9.6. Molibdeno (Mo)**

Es importante en la síntesis de proteínas y en la fijación simbiótica del nitrógeno. También ha sido asociado a los mecanismos de absorción y traslación del hierro. Pequeñas manchas blancas en las nervaduras mayores; encurvamiento del limbo a lo largo de la nervadura principal. La manifestación del síntoma visual de deficiencia de molibdeno es poco frecuente. Sin embargo, el bajo nivel del nutriente en las hojas, afecta el aprovechamiento del nitrógeno por el cultivo (Guzmán y López, 2004)

#### **4.9.7. Cloro**

El cloruro es necesario en pequeñas cantidades y coadyuva en el metabolismo de las plantas, la fotosíntesis, la ósmosis (movimiento de agua hacia dentro y fuera de las células de las plantas) y en el equilibrio iónico en el interior de sus células además de que protege los fotosistemas de componentes oxidantes producidos durante la fotólisis del agua (Villa *et al.*, 2006).

La deficiencia de cloro, puede presentarse cuando sustrato contiene menos de 2 ppm de esta sal. Sus síntomas se presentan como manchas cloróticas acompañadas de puntos necrosados localizados entre las venas o en las orillas de las hojas más jóvenes. En casos avanzados, la deficiencia de cloruro puede provocar marchitamiento sin embargo es difícil que ocurra debido a que se encuentra en el agua y en fertilizantes como impurezas (Villa *et al.*, 2006)

En las primeras fases de desarrollo del maíz las extracciones de N, P y K son muy pequeñas, acelerándose estas durante la formación del tallo. La absorción de N y P se realiza durante todo el ciclo y son transferidos al fruto, mientras que la de K finaliza con la aparición de sedas. Así los suelos cultivados con maíz agotan rápidamente las reservas de N y P pero no las de K. Para un rendimiento medio de 10,000 kg/ha, de maíz son necesarios 175 kg/ha de N en suelos ligeros, 187 kg /ha en suelos medios y 230 kg/ha en suelos pesados, un ejemplo de extracción de kilogramos de fertilizantes por tonelada de grano se muestra en el **Cuadro 2** (Ortas, 2018).

**Cuadro 2.** Requerimientos y extracción de nutrientes en grano para producir una tonelada de grano de maíz.

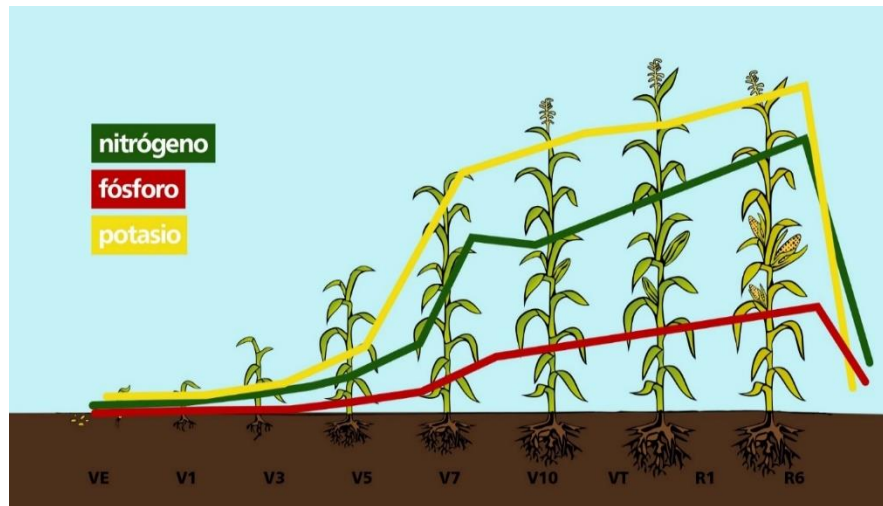
Nutriente	Requerimiento kg/ton	Índice de Cosecha	Extracción kg/ton
Nitrógeno	22	0.66	14.5
Fósforo	4	0.75	3.0
Potasio	19	0.21	4.0
Calcio	3	0.07	0.2
Magnesio	3	0.28	0.8
Azufre	4	0.45	1.8
	kg/ton		kg/ton
Hierro	125	0.36	45
Manganeso	189	0.17	32
Boro	20	0.25	5
Cobre	13	0.29	4
Zinc	53	0.50	27
Molibdeno	1	0.63	1
Cloro	444	0.06	27

**Fuente.** García, 2001.

Por cada 1,000 kg/ha adicionales debería incrementarse esta aportación en 20, 24 y 30 kg/ha respectivamente. La aplicación de N deberá realizarse de forma fraccionada, aportando parte en fondo (60 %) y otra parte en cobertera (40 %). Existen en el mercado fertilizantes con el nitrógeno estabilizado (ENTEC) que permiten una sola aplicación de fondo, prescindiendo de fertilizantes de cobertera, manteniendo, o incluso aumentando, la producción (Ortas, 2018).

Los niveles críticos de P en el suelo son de 12-15 ppm y de 140-160 ppm para el K. La carencia de Zn es la más importante dentro de los micronutrientes, siendo más frecuente en suelos calizos y con bajo contenido en M.O (Figura 14). La relación óptima N/P es muy importante para el equilibrio nutrimental, debiendo estar en torno a 10. Es asimismo importante la relación potasio-calcio-magnesio, ya que un exceso de K puede ocasionar

deficiencias en Ca y Mg. En muchos casos los síntomas carenciales no son debidos a un déficit en la fertilización, sino más bien a dificultades nutrimentales y bloqueo de elementos (Ortas, 2018).



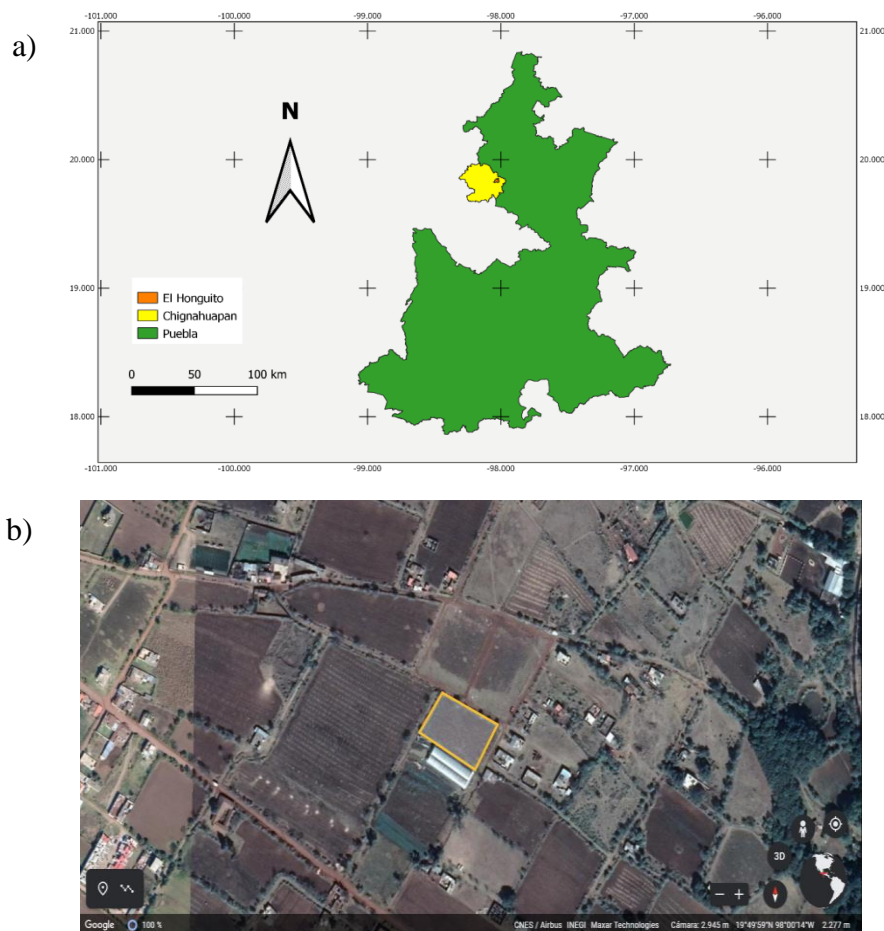
**Figura 14.** Comportamiento de las curvas de extracción de N-P-K en planta de maíz (Embíd, 2017).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Área de estudio

#### 5.1.1. Localización geográfica

La presente investigación se llevó a cabo en el barrio El Honguito, perteneciente al municipio de Chignahuapan en la sierra norte del estado de Puebla (Figura 15). Su ubicación geográfica se encuentra entre los paralelos  $19^{\circ}50'16.0''$  latitud norte y  $97^{\circ}59'41''$  longitud oeste a una altura de 2,237 msnm. El municipio colinda al norte con Zacatlán, al este con Aquixtla, al sureste con Ixtacamaxtlán y al sur con Tlaxco, Tlaxcala y al oeste y noreste con los municipios de Almoloya, Apan y Cuauhtepc de Hinojosa, Hidalgo (INEGI, 2020).



**Figura 15.** Localización geográfica del área de estudio; a) Municipio de Chignahuapan, Pue.; b) Parcela experimental.

### **5.1.2. Clima**

De acuerdo a la clasificación de climas realizada por Köppen modificada por Enriqueta García (2004), el Honguito. Chignahuapan, Puebla, presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano C(w) y humedad media de 85%.

### **5.1.3. Fisiografía**

El municipio de Chignahuapan pertenece a la provincia del eje Neovolcánico y subprovincia lagos y volcanes de Anáhuac. Está constituido por una amplia diversidad de sistemas de topofomas, principalmente por lomerío de tobas con llanuras el cual representa 42% del territorio, seguido por la sierra volcánica de laderas escarpadas con 30%, lomerío de tobas con 16% y la llanura con lomerío de piso rocoso o cementado con 12% (Prontuario de Información Geográfica, 2009).

### **5.1.4. Edafología**

Entre los tipos de suelo se pueden encontrar el Phaeozem (39%), Andosol (35%), Vertisol (13%), Luvisol (6%), Planosol (3%) y Durisol (1%). En esta región, el 58% de la población se dedica a la agricultura y el 37% al manejo forestal (Prontuario de Información Geográfica, 2009).

### **5.1.5. Hidrografía**

El municipio es rodeado por tres ríos; Tecolutla (76%), Moctezuma (22%) y Atoyac (2%) pertenecientes a las regiones hidrológicas de Tuxpan-Nautla, Pánuco y las Balsas respectivamente. También se encuentran corrientes de agua perennes como el Agrio, Ahualtongo, Blanco, Cantarranas, Hondo, San Pedro, Totolapa y Xalatlaco e intermitentes como Agua Escondida, Capulaque, Hondo, La Mora y San Lorenzo. Sin embargo, los cuerpos de agua son de gran importancia para abastecer el riego local. Entre los que se pueden encontrar están los perennes como el Ajolotla, Bordo La Primavera, Presa Cuaudelolulco, Presa la Luz y San Francisco y los intermitentes como Bordo El Rodeo y Loma Alta (Prontuario de Información Geográfica, 2009).

## **5.2. Híbrido var. 1291 valles altos.**

El maíz utilizado fue un híbrido denominado 1291 valles altos. Esta variedad fue seleccionada debido a que se adapta a las condiciones agroclimáticas de la región. Además, en el municipio algunos productores de maíz han optado por utilizarla como alternativa para el incremento de la productividad.

## **5.3. Establecimiento del experimento**

### **5.3.1. Preparación del suelo**

En la unidad productiva (up) siempre se ha sembrado maíz, por lo tanto, se continuó con la técnica de labranza utilizada por el productor para la preparación del suelo. La única práctica agrícola que se eliminó fue el abonado con excremento de animales. Para la preparación se realizó subsoleo, arado y rastreo con la finalidad de controlar el banco de semillas de vegetación endémica, proporcionar aireación al suelo y eliminación de propágulos de insectos subterráneos. Con respecto al subsoleo, este fue realizado debido a que mejora las condiciones físicas del suelo, favorece el desarrollo e incrementa el rendimiento del maíz (Galarza, 2011). Las prácticas también contribuyen a la regulación de la temperatura, humedad y rompimiento de la capa superficial del suelo. Esta última para facilitarle a la planta que emerja sin contratatiempo.

En el subsoleo se profundizó 40 cm para destruir las capas y roturar la compactación sin voltear la tierra. Posteriormente se aró con tracción animal para abrir los surcos, formar las camas y eliminar los terrones superficiales. Finalmente, se procedió a pasar la rastra para romper terrones más pequeños, eliminar semillas y residuos superficiales, de manera más concisa homogenizar el suelo.

### **5.3.2. Muestreo**

La colecta de las muestras se realizó de acuerdo al diseño experimental para evitar confusión entre mazorcas. Se etiquetaron por bloques, cada bloque tuvo 4 tratamientos, 1 testigo y cada tratamiento estuvo constituido por 20 repeticiones.

### 5.3.3. Secado de la mazorca

Para el secado de las muestras se usó la energía solar dónde cada 8 días se volteaba manualmente para homogenizar. Este proceso duró tres meses; inició el 01 de enero de 2020 y culminó el 01 de abril del mismo año.

### 5.4. Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron Nitro K reabone, Nitro perfecto, Urea y Sulfato de amonio. Estos productos tienen un uso común en el municipio de Chignahuapan debido a que poseen una composición química semejante que contribuye en el desarrollo vegetativo y productivo del maíz (**Cuadro 3 y 4**). Previo a la aplicación de los tratamientos se administró un compuesto inorgánico denominado mezcla plata para otorgar uniformidad.

Los tratamientos fueron aplicados a los 45 días después de que emergió la planta con una aplicación (durante la etapa inicial del desarrollo vegetativo).

**Cuadro 3.** Unidades de nutrientes aplicadas por ha.

	<b>Nitrógeno total</b>	<b>Potasio</b>	<b>Azufre</b>	<b>Boro</b>
<b>Tratamiento 1</b>	46	12.105	50.84	1.210
<b>Tratamiento 2</b>	46	000	00	00
<b>Tratamiento 3</b>	46	00	00	00
<b>Tratamiento 4</b>	46	00	50.38	00
<b>Tratamiento testigo</b>	00	00	00	00





















**Cuadro 4.** Descripción de los fertilizantes-tratamientos.

<b>Fertilizante</b>	<b>Denominación del producto</b>	<b>Composición</b>	<b>Características</b>
Nitro K reabone		Nitrógeno Total en forma amoniacal (NH <sub>4</sub> ) 19% Potasio (K <sub>2</sub> O) 5% Azufre (SO <sub>4</sub> ) 21% Boro (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 0.5%	-Mejora procesos de crecimiento y desarrollo. -Mayor disponibilidad de absorción. -Ayuda en la formación de clorofila y proteínas. -Mayor desarrollo de frutos y ganancia de peso. -Incrementa resistencia al estrés.
	Nueva generación		
Nitro perfecto		Nitrógeno total con molécula de agrotain 46%	-Inhibidor de la ureasa y reducción de la volatilización. -Mayor disponibilidad de absorción. -Menos nitrógeno inmovilizado por microorganismos. -Almacenamiento de nueve meses.
Urea		Nitrógeno total en forma amoniacal 46%	-Sintetiza la clorofila y ayuda en la fotosíntesis. -Componente de vitaminas y energía para la planta. -Forma parte de los aminoácidos e incrementa proteínas.
	Convencional		
Sulfato de amonio		Nitrógeno total en forma amoniacal 19% Azufre 23.3% Calcio 3.2%	-Del 75 al 90% se asimila. -La disponibilidad de nutrientes es inmediata. -Posee compatibilidad con diferentes productos.

**Fuente.** Datos obtenidos de ISAOSA, 2019; YPF, 2020; UNIVEX, 2020.

En el cuadro 6, se ilustra el diseño experimental utilizado en la investigación; T1 Nitro K Reabone, T2 Nitro perfecto, T3 Urea, T4 Sulfato de amonio y Tt Testigo. Cada tratamiento cuenta con 20 peticiones; R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19 y R20 los cuales están agrupados en 5 bloques; A, B, C, D y E.

**Cuadro 5.** Ilustración del diseño experimental bloques completamente al azar.

	N. PERFECTO	S. AMONIO	UREA	N. K. REABONE	T. TESTIGO
Bloque A					
Bloque B	UREA	N. PERFECTO	T. TESTIGO	S. AMONIO	N. K. REABONE
					
Bloque C	S. AMONIO	T. TESTIGO	N. K. REABONE	N. PERFECTO	UREA
					
Bloque D	N.K REABONE	UREA	N. PERFECTO	T. TESTIGO	S. AMONIO
					

#### 5.4.1. Variables respuesta

Las variables respuesta evaluadas fueron: longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), peso seco de mazorca con brácteas (PSMB), peso seco de mazorca sin brácteas (PSMSB), número de hileras (NH), número de granos por hilera (NGH), peso de 100 granos (PG) y productividad en kg/ha (kg/ha) (**Cuadro 7**). La metodología utilizada para determinar la calidad de maíz híbrido *var.* 1291 valles altos fue la de Acosta et *al.*, 2013 y Acosta y Votonica, 2015. Mientras que la productividad se determinó con la fórmula utilizada por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

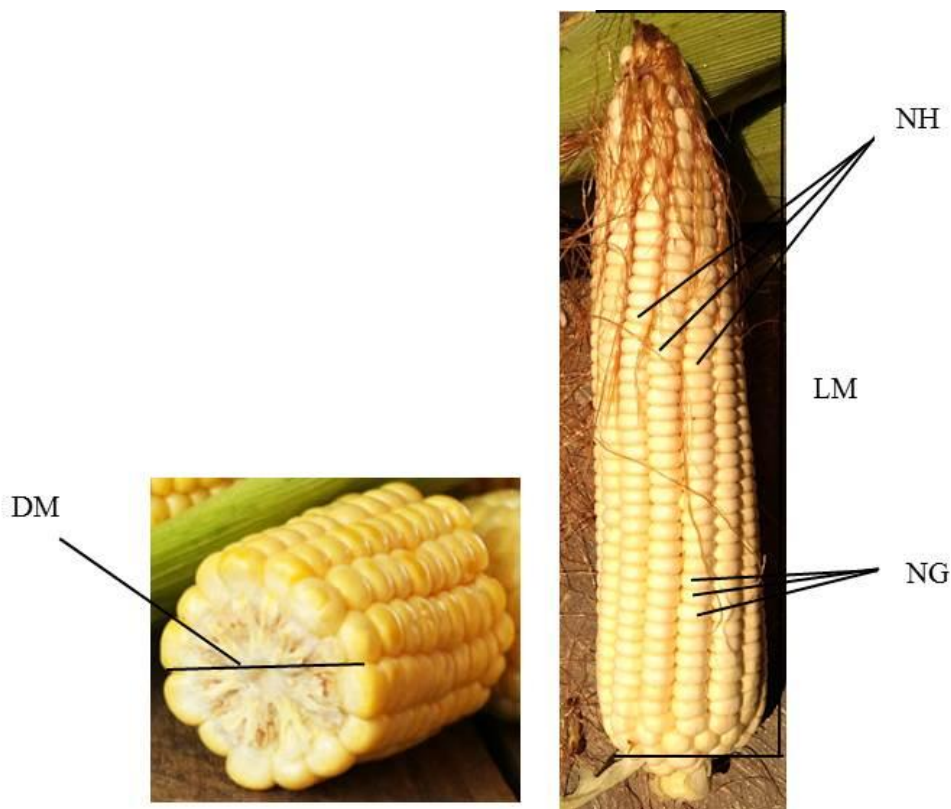
#### Fórmula para la obtención de la productividad (SIAP, 2020)

$$Productividad = \frac{Producción\ obtenida\ (toneladas)}{Superficie\ cosechada\ (hectáreas)}$$

**Cuadro 6.** Descripción morfoagronómica de la mazorca y grano de maíz híbrido *var.* 1291.

<b>Caracteres morfométricos</b>	<b>Variables respuesta</b>	<b>Descripción</b>
Mazorca	Longitud de mazorca (cm)	LM Zona basal de la mazorca al crecimiento del pelo de maíz (Figura 16B).
	Diámetro de mazorca (cm)	DM Parte media de la mazorca a través del corte de la coronta (Figura 16A).
	Peso seco de mazorca con brácteas (g)	PSMB Determinación del peso seco exponiendo las mazorcas al sol con movimientos para un secado homogéneo.
	Peso seco de mazorca sin brácteas (g)	PSMSB Determinación del peso seco, después de retirar los granos de las brácteas
	Número de hileras	NH Total de hileras/mazorca (Figura 16B).
	Número de granos por hilera	NGH Total de granos por hilera de mazorca (Figura 16B).
Grano	Peso de 100 granos	PG Valor obtenido del pesado de los granos/tratamiento.
	Productividad en kg/ha	kg/ha Se cuantificó el volumen de producción por hectárea en base a la superficie sembrada y evaluada.

**Fuente:** Elaboración propia con datos obtenidos de Acosta et *al.*, 2013 y Arredondo y Voltonica,2015.



**Figura 16.** Identificación de las variables respuesta. **A)** Diámetro de mazorca; **B)** Longitud de mazorca (LM), número de hileras (NH) y número de granos (NG).

Para la medición del peso seco de la mazorca con brácteas (PSMB), peso seco de la mazorca sin brácteas (PSMSB) y peso de 100 granos (PG) se utilizó una balanza digital de la marca Ohaus modelo scout pro con capacidad de 200g. Mientras que para determinar la longitud de mazorca (LM) y diámetro de mazorca (DM) se usó un vernier digital de la marca Stainless hardened.

### 5.5. Diseño experimental y análisis estadístico

Para el establecimiento del diseño experimental se utilizó un área de 24.30 m.<sup>2</sup> el cual no presenta pendiente y pertenece al productor Héctor Francisco Díaz López. El distanciamiento de siembra fue de 0.40m entre sucos, 0.25m entre plantas y ancho de cama de 0.40m, dónde se sembró una semilla de maíz HVA1291. El diseño utilizado fue bloques completamente al azar con 20 repeticiones (**Cuadros 8**).

**Cuadro 7.** Descripción del diseño experimental bloques completamente al azar.

<b>BLOQUES</b>		<b>TRATAMIENTOS</b>			
Bloque 1	T2	T4	T3	T1	Tt
Bloque 2	T3	T2	Tt	T4	T1
Bloque 3	T4	Tt	T1	T2	T3
Bloque 4	T1	T3	T2	Tt	T4

**Tratamientos:** T1 Nitro k reabone, T2 Nitro perfecto, T3 urea, T4 sulfato de amonio y Tt Testigo.

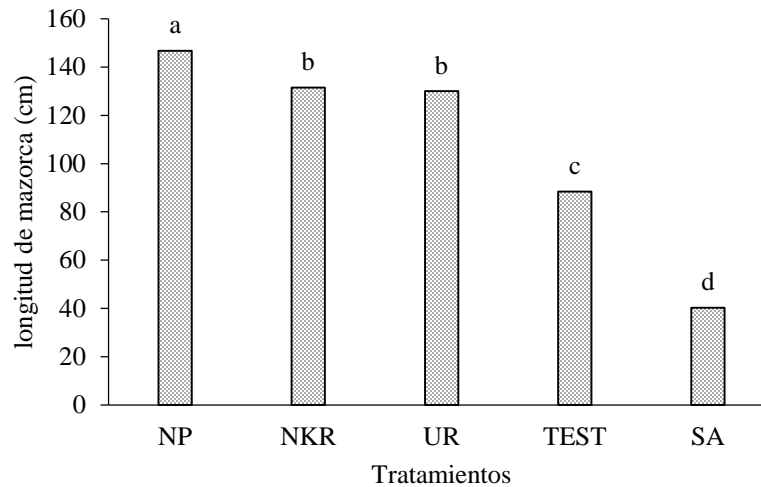
**Fuente.** Elaboración propia.

Para la obtención de los resultados se llevó a cabo el análisis de varianza y se corrieron los datos en el programa MINITAB 18.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Longitud de mazorca (LM).

La variable de longitud de mazorca demostró que la aplicación de Nitro perfecto obtuvo un crecimiento con una media de 146.07 cm por mazorca, mientras que el tratamiento que obtuvo el peor rendimiento, fue el Sulfato de amonio, con una media 40.30 cm, estando incluso por debajo del Testigo, al cual no se le aplicó ninguna fertilización. Por lo que observo una diferencia estadística ( $\alpha \leq 0.05$ ) entre todos los tratamientos (Figura 17).



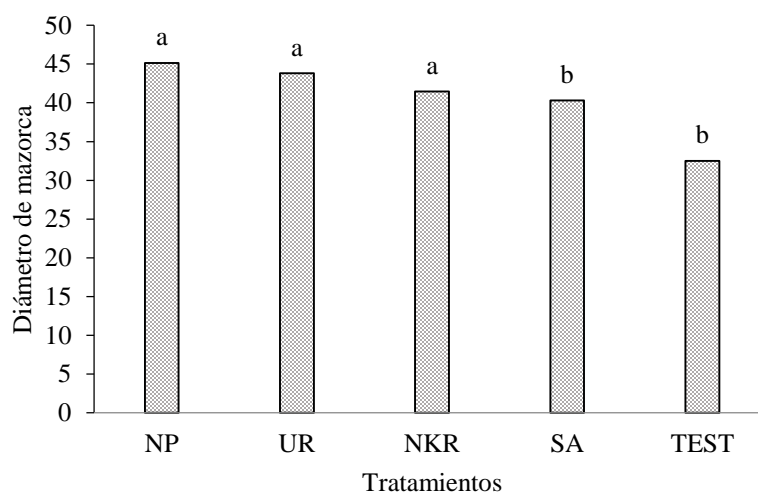
**Figura 17.** Longitud de mazorca expuesta a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Sulfato de amonio y Urea). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

Estudios realizados por Zamudio-González *et al.* (2015) en mazorcas híbridas, se identificó que la longitud de mazorca es menor en parcelas donde hay fertilizaciones con omisión de nitrógeno, mostrando unas medias entre 15.1 y 14.2 cm, así mismo, los tratamientos que respondieron favorablemente fueron *Chromobacterium violaceum*+ fertilización química 80-23-15, seguido de fertilización química 160-46-30, mientras que la menor longitud de mazorca se obtuvo con el testigo a, el cual no poseía ningún tipo de fertilización química (Martínez *et al.*, 2018), al igual, en una investigación con seis híbridos de maíz, los híbridos presentaron los mejores a la dosis de 150 kg·ha<sup>-1</sup> de N. El mayor rendimiento fue alcanzado por el híbrido semidentado DK-370 con una media de 18.28 cm seguido por el semidentado

DK-777 (17.80 cm) (Barrios y Basso, 2018). Demostrando que al igual que este experimento, la utilización de fertilizantes, mejora la longitud de la mazorca.

## 6.2. Diámetro de Mazorca (DM)

Por otra parte, en el diámetro de la mazorca, tres tratamientos (Nitro perfecto, Urea y Nitro K Reabone,) mostraron medias similares, siendo mayores a los 41 cm, como se esperaba, el tratamiento peor evaluado fue el Testigo, dejando una media de 32.50 cm, denotando la eficiencia de las fertilizaciones en plantas de maíz para generar un mejor diámetro en mazorca, existiendo una diferencia estadística ( $\alpha \leq 0.05$ ) positiva en todos los tratamientos con fertilización (Figura 18).



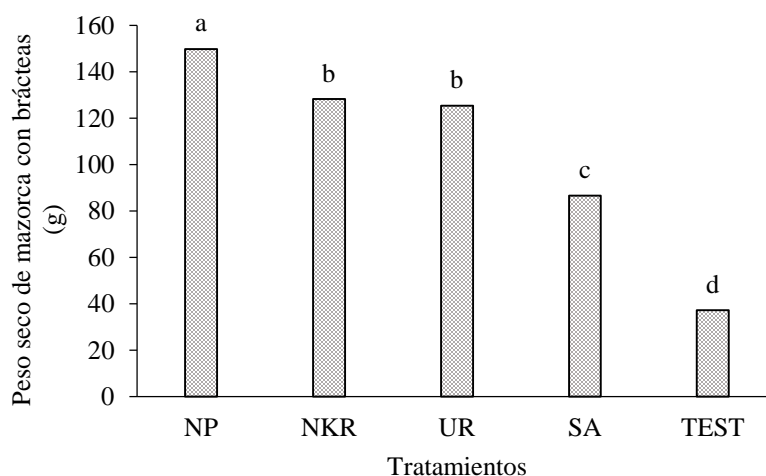
**Figura 18.** Diámetro de mazorca expuesta diferentes a fertilizaciones (Nitro perfecto, Urea Nitro K Reabone, y Sulfato de amonio y). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

Los resultados en cultivos de maíz en Chiapas señalan que los tratamientos con fertilización química 80-23-15, fertilización química 160-46-30 y fertilización química 160-46-30, obtuvieron las mejores medias, mientras que el de menor diámetro se cuantificó en el Testigo, dejando en claro la necesidad de las fertilizaciones en maíz (Martínez *et al.*, 2018), por otro lado, plantas híbridas de maíz en el diámetro de mazorca, se observaron diferencias entre los tratamientos fertilizados y el testigo sin nitrógeno, donde se obtuvieron medias de 6.30 cm y 5.50 cm en fertilizaciones de  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de N (Barrios y Basso, 2018). En otro experimento

con maíz, se denoto que el tratamiento con omisión de Nitrógeno obtuvo mejores medias en diámetro de mazorca, con 4.7 cm, estando por encima de un tratamiento con fertilización completa, el cual demostró una media de 4.6 cm, denotando que en la fertilización es importante en el diámetro de la mazorca, mas no todos los componentes nutrimentales de estas (Zamudio-González *et al.*, 2015). Es claro el incremento del diámetro de la mazorca, en plantaciones que si llevan una fertilización, aun cuando esta no sea nitrogenada.

### 6.3. Peso seco de mazorca con brácteas (PSMB)

Mientras que en el peso seco de mazorca con brácteas, se obtuvo que el tratamiento con mejor media mayor a los 140 g, es el tratamiento con Nitro perfecto, por otro lado los tratamientos con Nitro K Reabone y Urea, obtuvieron medias interesantes por encima de los 120 g, además de que el tratamiento peor evaluado es el Testigo con una media de 37.24 g, denotado una diferencia estadística ( $\alpha \leq 0.05$ ) favorable en tratamientos con fertilización, dejando en claro lo necesario de la fertilización en plantas de maíz.



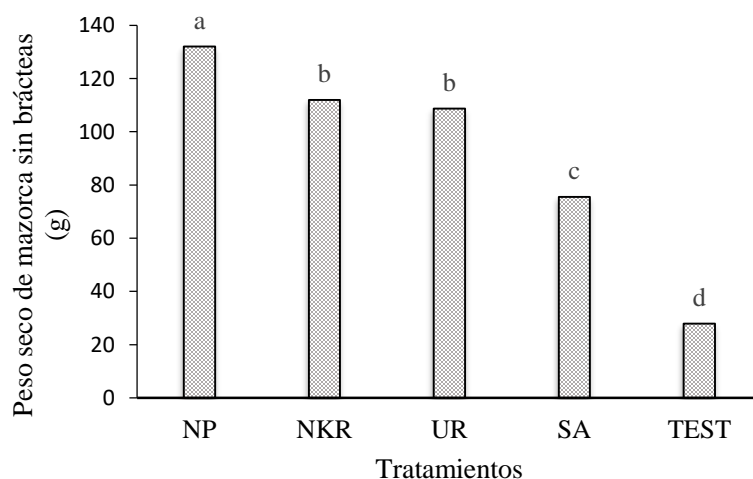
**Figura 19.** Peso seco de mazorca con brácteas expuesta a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Sulfato de amonio y Urea). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

En investigaciones realizadas de fertilizaciones con maíz híbrido Aunque la fertilización no influyó en esta variable, se obtuvo un promedio ligeramente mayor con la fertilización química siendo el híbrido P4082W el que mostro los mejores resultados con un promedio de

10.4 kg por cultivo (Ayvar-Serna *et al.*, 2020). Así mismo, en fertilizaciones con aplicaciones de calcio, boro y azufre, presentó que el tratamiento que contiene 80 kg de Calcio, 1,5 kg de Boro y 0 kg de Azufre, obtuvo el mayor peso de la mazorca con bráctea que fue de 322,70 g; mientras que el tratamiento formado de 80 kg de Ca, 1 kg de Boro y 0 kg de Azufre, fue el menor con 301,55 g, estos claramente siendo mejores a cultivos sin fertilizaciones (Chanataxi, 2016). Demostrando que los resultados obtenidos en este experimento son similares y que la fertilización influye directamente en el peso seco de mazorcas con brácteas.

#### 6.4. Peso seco de mazorca sin brácteas (PSMSB)

Por otra parte, en la variable de peso seco sin brácteas, el tratamiento con Nitro perfecto, obtuvo la mejor media, siendo esta de 131.98 g, mientras tanto, hubo un interesante cambio con respecto al tratamiento Nitro K Reabone y Urea, existiendo una diferencia estadística ( $\alpha \leq 0.05$ ) entre ellos, esta demás mencionar que el tratamiento con la media más baja, fue el tratamiento Testigo, el cual apenas y logro obtener los 27.86 g, dejando la diferencia clara con respecto a plantas con y sin fertilización (Figura 20).



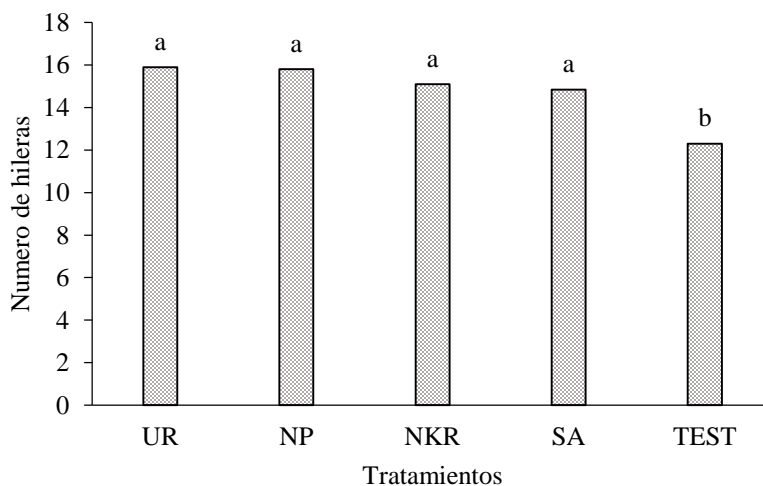
**Figura 20.** Peso seco de mazorca sin brácteas expuesta a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

Así mismo, en maizales fertilizados con aplicaciones de calcio, boro y azufre, se observó que el tratamiento constituido de 80 kg de Calcio, 1,5 kg de Boro y 0 kg de Azufre presentó el

mayor peso de la mazorca sin bráctea con 244,10 g; mientras que, el tratamiento conformado de 80 kg de Calcio, 1 kg de Boro y 0 kg de Azufre presentó el menor promedio con 233,00 g, observando la importancia y de dichas aplicaciones en cultivos de maíz (Chanataxi, 2016). En otra investigación con aplicaciones de fertilizaciones químicas, se manifestó una tendencia donde las mazorcas del híbrido P4082W pesaron 9.9 kg, promedio 17.49% mayor que 8.2 kg obtenido con H565, mostrando que la fertilización no influyó significativamente en estos híbridos (Ayvar-Serna *et al.*, 2020). Ambas investigaciones se contraponen entre ellas, sin embargo, este experimento demuestra que la fertilización en cultivos de maíz aumenta el peso seco de las mazorcas en brácteas.

### 6.5. Numero de hileras (NH)

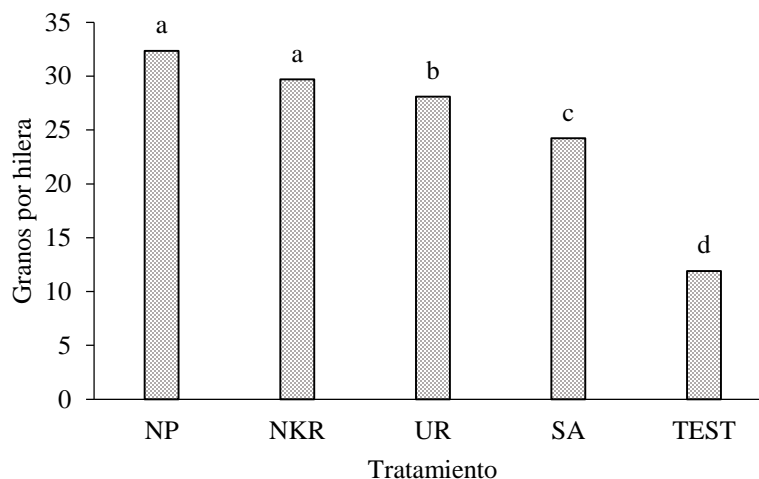
En la variable de numero de hileras, los tratamientos de Urea, Nitro perfecto, Nitro K REABONE y Sulfato de amonio, obtuvieron medias similares por encima de las 15 hileras, dejando al Testigo, como el único tratamiento por debajo de dicha media, y demostrando una vez más la importancia de la fertilización, para la obtención de una mayor numero de hileras (Figura 21).



**Figura 21.** Numero de hileras expuestas a diferentes fertilizaciones (Urea, Nitro perfecto, Nitro K Reabone y Sulfato de amonio). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

## 6.6. Granos de hileras (GH)

Mientras que en granos por hilera, los tratamientos con Nitro perfecto y Nitro K Reabone obtuvieron resultados por encima de la media con un número mayor a los 29 granos, siendo estas 63 % más efectivas al tratamiento Testigo, denotando que las fertilizaciones en cultivos de maíz generan un mayor número de granos.



**Figura 22.** Granos por hilera expuestas a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

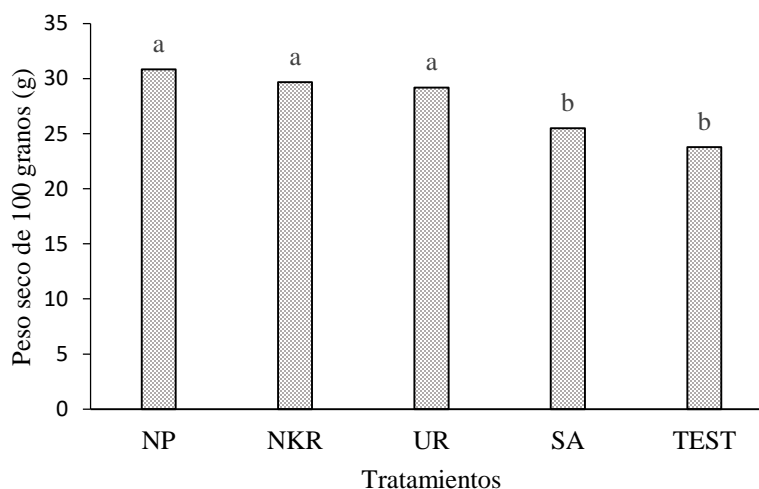
En estudios similares realizados en el estado de Tamaulipas, se obtuvo que no existieron diferencias significativas entre las fertilizaciones con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc, manteniendo una media entre 27 a 30 granos por hilera, pero estos siendo mejores en comparación al tratamiento sin fertilización (Alvarado, 2002). Así mismo, Barrios y Basso (2018), mencionan que un déficit de N puede generar en híbridos de maíz, mazorcas con menor número de hileras de granos, denotando que tuvieron su mejor media con fertilizaciones en dosis de N150, donde sus medias fueron de 43.33 y 46.33 respectivamente, denotando resultados positivos en con dichas fertilizaciones, tal y como se demuestran en esta investigación.

Sin embargo, en un trabajo realizado con biofertilizantes, no se encontró diferencia estadística significativa para el número de granos por hilera, siendo el Testigo el de menor granos por

hileras y los tratamientos *Chromobacterium violaceum* + fertilización química 160-46-30 y *Azospirillum brasilense*+ fertilización química 160-46-30 el influyeron favorablemente en esta variable, con un incremento del 29.5% con respecto a los demás tratamientos (Martínez *et al.*, 2018).

### 6.7. Peso de 100 granos (PG)

Por otra parte, en el peso de 100 granos, los tratamientos con Nitro perfecto, Nitro K reabone y Urea respectivamente, mostraron resultados estadísticamente iguales (Figura 23), siendo estos los tratamientos con mejores resultados, mientras que el tratamiento testigo estuvo en igualdad estadística con el tratamiento de sulfato de amino, denotando una ineficacia en el peso de 100 granos de con tan solo una media mayor a los 23 g y 25 g respectivamente.



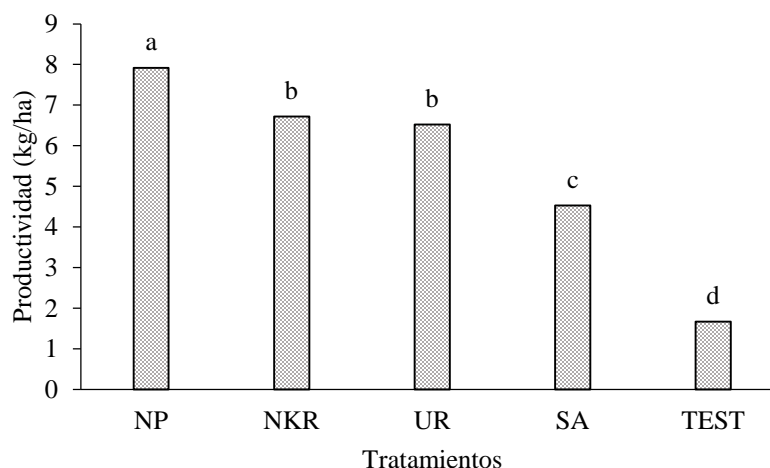
**Figura 23.** Peso de 100 granos a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

En una investigación de maíz con biofertilizantes y fertilizantes se obtuvo que hubo sinergia entre las bacterias *Azospirillum* y *Chromobacterium* inoculadas y los fertilizantes químicos, requiriendo menor cantidad de este último y con respuesta favorable, mientras que el Testigo absoluto fue el de menor peso (Martínez *et al.*, 2018). Mientras que, en trabajos con fertilización potásica en maíz, se demostró que con un peso significativamente menor al tratamientos testigo en comparación al resto de los tratamientos, siendo el T5 - 125 kg/ha

(50% KCl + 50% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con 249,5 g. (Cano *et al.*, 2007). Por último, en tratamientos con omisión de nitrógeno, en el peso de 200 granos se obtuvo tan solo un 53.9 g (Zamudio-González *et al.*, 2015), demostrando que la fertilización Nitrogenada es importante, tal y como lo mostrado en este experimento.

### 6.8. Productividad en kg/ha (kg/ha)

Para finalizar, en la variable de productividad, existió un tratamiento superior, siendo el Nitro perfecto, con una media de 7.91 kg/ha, siendo un 79 % mejor en comparación al tratamiento testigo, el cual con una media de 1.67 Ton/ha, resulto ser el peor tratamiento del experimento, habiendo una clara diferencia estadística ( $\alpha \leq 0.05$ ) positiva para los tratamientos cuya fertilización incremento la productividad en cultivos de maíz.



**Figura 24.** Productividad en kg/ha a diferentes fertilizaciones (Nitro perfecto, Nitro K Reabone, Urea y Sulfato de amonio). Medias con distinta literal en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

Para finalizar, en tratamientos de fertilización y biofertilización en cultivos de maíz los resultados señalan un incremento con los tratamientos Azospirillum brasilense + fertilización química 160-46-30, Chromobacterium violaceum + fertilización química 80-23-15, con estos se obtuvo 5.97 t ha<sup>-1</sup> y 5.87 t ha<sup>-1</sup> de maíz respectivamente, mientras que la menor producción unitaria se tuvo con el Testigo absoluto ((Martínez *et al.*, 2018). Por otra parte, en otra investigación en cultivos de maíz en Campeche se tuvo que con la aplicación de fertilizante se

obtienen 5 426 kg ha<sup>-1</sup>, que es superior en 1 231 kg al rendimiento obtenido sin fertilización, de 4 195 kg ha<sup>-1</sup> (Medina *et al.*,2018).

## VIII. CONCLUSIONES

Podemos finalizar esta investigación, afirmando que las fertilizaciones nitrogenadas generan un incremento significativo en los cultivos de maíz en el municipio de Chignahuapan, Puebla, recomendando ampliamente la utilización de Nitro Perfecto (NP), pues fue el tratamiento que mostro los resultados más favorables, en cambio, al Sulfato de amonio (SA), el cual llegó a tener resultados incluso por debajo del tratamiento que no recibió ningún tipo de fertilización.

Así mismo, denotamos la importancia de las fertilizaciones para generar una productividad y estos generen un mayor ingreso monetario para los productores de la región donde se realizó dicho experimento.

Por tanto, la fertilización nitrogenada genera mayor productividad que se traduce en un incremento del ingreso monetario de los agricultores, obteniendo una demanda mayor y dando un producto de mejor calidad en el mercado.

## X. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta R. 2009. El cultivo de maíz, origen y clasificación. El maíz en Cuba. Revista Cultivos Tropicales. 30(2):113-120 pp.
2. Acosta R. R.; Colmer L. A. R.; Ríos L. H. y Martínez C. M. 2013. Evaluación morfoagronómica de una población de maíz (*Zea mays*) en condiciones de polinización abierta en el municipio Batamaño, provincia Mayabeque. Revista Cultivos Tropicales. 34(2):52-60 pp.
3. Almeraya del V. E. y Sánchez Q. E. 2015. Adaptaciones fotosintéticas en las plantas para mejorar la captación de carbono. Ensayo. Revista Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias. 66(4): 72-80 pp.
4. Asturias, M. A. 2004. Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. Revista Red por una América Latina Libre de Transgénicos. 111 Pág.
5. Barrios M., y Basso C. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. Bioagro. 30(1): 39-48 pp.
6. Cano J.D., Ernst O., y García F. 2007. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. Informaciones Agronómicas. 36: 9-12 pp.
7. Carrillo, T. C. 2009. El origen del maíz, naturaleza y cultura. Revista Ciencias. 92-93 pp.
8. CONACYT, 2020. Consultado en línea: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz> el día 20 de junio de 2020.

9. Embid, A., 2017. Fertilización En Maíz: La Necesidad De Magnesio. Consultado en línea: <https://www.grupofertiberia.com/es/blog/2017/marzo/fertilizacion-en-maiz-la-necesidad-de-magnesio/> el día 10 noviembre 2020.
10. Fernández M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. XLI (2):51-57 pp.
11. Flores-Cruz L. A.; García-Salazar J. A.; Mora-Flores J. S. y Pérez-Soto F. 2014. Producción de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla: Un enfoque de equilibrio espacial para identificar las zonas productivas más competitivas. Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 11: 223-239 pp.
12. Galarza B. P. J. 2011. Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura (*Dolichos lablab*) en las propiedades físicas del suelo y producción de maíz cv. 30F32WHR, Zamorano, Honduras. Tesis de Licenciatura. 30 pág.
13. García, E. 2004. Modificación al sistema de Clasificación Climática de Köppen. 5a edición. Serie libros. Instituto de Geografía, UNAM. México. 98 Pág.
14. Gómez M. N. O.; Cantú A. M. A.; Vázquez C. M. G.; Hernández G. C. A.; Espinosa C. A.; Sierra M. M.; Coutiño E. B. J.; Aragón C. F. y Trujillo C. A. 2017. Híbrido de maíz H-568: nueva opción para áreas de alta productividad del trópico de México. Revista Mexicana de Ciencias Sociales. 8(15):1213-1218 pp.
15. Intagri. 2020. Guía de Fertilizantes Nitrogenados para Cultivos. Consultado en línea: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/guia-de-fertilizantes-nitrogenados-para-cultivos>. El día 20 de mayo de 2020.
16. J.M. Mateo. 2020. Ley del minino. Consultado en línea; <https://jmarcano.com/ecologia/factores-limitantes/minimo/>. El día 02 de junio de 2020.

17. Kato T. A.; Mapes C.; Mera L. M.; Serratos J. A. y Bye R.A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Autónoma Nacional de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF. 116 pág.
18. Larriva C. N. 2003. Síntesis de la importancia del potasio en el suelo y plantas. Facultad de Ciencias pecuarias y agroindustriales. Ensayo. Revista la granja. 2:23-24 Pp.
19. Martínez R. L., Aguilar J. C. E., Carcaño M. M. G., Galdámez G. J., Gutiérrez M. A., Morales C. J. A., Martínez A. F., Llaven M. J., y Gómez P. E. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. Siembra. 5(1): 26–37 pp.
20. Medina M. J., Alejo S. G., Soto R. J. M., y Hernández P. M. 2018. Rendimiento de maíz grano con y sin fertilización en el estado de Campeche. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 21: 4306-4316 pp.
21. Museo Nacional de Culturas Populares. 1982. El maíz, fundamento de la cultura popular mexicana. 1ra edición, SEP. México, DF. 116 pág.
22. Prontuario de agricultura. 2005. Prontuario de agricultura, cultivos agrícolas
23. Prontuario de Información Geográfica. 2009. Consultado en línea: [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21053.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21053.pdf) el día 27 de mayo de 2020.
24. Rodríguez F. J. G. 2004. Biología de polen y estigmas en especies de *Zea*. Tesis de Licenciatura. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, División de Ciencias Agronómicas. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 45 pág.
25. SIAPc (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Consultado en línea el día 28 de enero de 2020.

26. SIAPa (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado. Consultado en línea: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do) el día 25 de mayo de 2020.
27. SIAPb (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. Consultado en línea: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do) el día 25 de mayo de 2010.
28. Valladares C. A. 2010. Taxonomía y botánica de los cultivos de grano. Serie Lecturas obligatorias. Unidad II, 001: Taxonomía botánica y fisiología de los cultivos de grano.
29. Venegas G. M. del R. S. 2016. Producción y comercialización del maíz en México, cobertura de riesgos con derivados. 21º Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Mérida, Yucatán del 15 al 18 de noviembre de 2016. AMECIDER-ITM.
30. Wellhausen E. J.; Roberts L. M.; Hernández E. X. y Mangelsdorf P. C. 1851. Razas de maíz en México, su origen, características y su distribución. Imprenta Aldina. 239 Pág.
31. Zamudio-González B., Tadeo-Robledo M., Espinosa-Calderón A., Martínez R. J N., Celis E. D. I., Valdivia B. R., y Zaragoza E. J. 2015. Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6 (7): 1557-1569 pp.

## XI. ANEXOS

### Anexo 1.

Análisis de Varianza de Longitud de mazorca

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
bloque	3	742	247.2	1.48	0.224
trata	4	149903	37475.8	225.10	0.000
Error	92	15317	166.5		
Falta de ajuste	12	1781	148.4	0.88	0.573
Error puro	80	13536	169.2		
Total	99	165962			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
12.9029	90.77%	90.07%	89.10%

### Anexo 2.

Análisis de Varianza Diámetro de mazorca

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
bloque	3	34.00	11.33	0.59	0.622
trata	4	1947.14	486.79	25.39	0.000
Error	92	1763.90	19.17		
Falta de ajuste	12	206.30	17.19	0.88	0.567
Error puro	80	1557.60	19.47		
Total	99	3745.04			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.37868	52.90%	49.32%	44.35%

### Anexo 3.

Análisis de Varianza de Peso seco de mazorca con bracteas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
bloque	3	6.430	2.143	0.51	0.677
trata	4	171.040	42.760	10.16	0.000
Error	92	387.120	4.208		
Falta de ajuste	12	61.120	5.093	1.25	0.265
Error puro	80	326.000	4.075		
Total	99	564.590			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.05130	31.43%	26.22%	18.99%

**Anexo 4.**

Análisis de Varianza de Peso seco sin bracteas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
bloque	3	97.40	32.47	1.65	0.184
trata	4	5151.14	1287.78	65.36	0.000
Error	92	1812.70	19.70		
Falta de ajuste	12	346.70	28.89	1.58	0.115
Error puro	80	1466.00	18.33		
Total	99	7061.24			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.43884	74.33%	72.38%	69.67%

**Anexo 5.**

Análisis de Varianza de Número de hileras

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
bloque	3	6321	2107.1	4.26	0.007
trata	4	157823	39455.7	79.86	0.000
Error	92	45455	494.1		
Falta de ajuste	12	5983	498.6	1.01	0.447
Error puro	80	39472	493.4		
Total	99	209599			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
22.2279	78.31%	76.66%	74.38%

#### Anexo 6.

##### Análisis de Varianza de Número de granos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
bloque	3	4348	1449.4	3.59	0.017
trata	4	133170	33292.5	82.39	0.000
Error	92	37177	404.1		
Falta de ajuste	12	5405	450.5	1.13	0.345
Error puro	80	31772	397.1		
Total	99	174695			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
20.1023	78.72%	77.10%	74.86%

#### Anexo 7.

##### Análisis de Varianza de Peso de 100 granos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
bloque	3	619.8	206.61	4.76	0.004
trata	4	723.7	180.93	4.17	0.004

Error	92	3993.2	43.40		
Falta de ajuste	12	1470.6	122.55	3.89	0.000
Error puro	80	2522.5	31.53		
Total	99	5336.7			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
6.58816	25.18%	19.48%	11.60%