

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno en el Comportamiento Agronómico de Seis Razas de Maíz

Por:

**JIMENA PEREZ AVALOS**  
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno en el Comportamiento Agronómico de  
Seis Razas de Maíz

Por:

**JIMENA PEREZ AVALOS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

M.C. Ma. Cristina Vega Sánchez  
Asesor Principal

Ing. Raymundo Cuellar Chávez  
Coasesor

Dr. Armando Muñoz Urbina  
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2022

### **Declaración de no plagio**

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



---

Jimena Perez Avalos

## AGRADECIMIENTOS

“A lo largo de mi vida, se han sumado en mi destino, almas que me han regalado un pedacito de sí mismas y me han convertido en una mejor persona.”

– Sue Zurita, El viaje de los colibríes-

A la gloriosa Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de formar parte de ella, por ser una institución llena de oportunidades y excelentes profesores. Gracias por enriquecerme de conocimientos y formarme como profesionista y sobre todo por darme los mejores años de mi vida acompañada de grandiosos amigos.

A mi asesor de tesis la M.C. Ma. Cristina Vega Sánchez por confiar en mí y darme la oportunidad para el desarrollo de mi tesis, gracias por compartir sus conocimientos conmigo, por todo el apoyo y dedicación en este trabajo.

Al Dr. Armando Muñoz Urbina por la paciencia, su apoyo, enseñanza y sus conocimientos compartidos durante la realización de mi tesis.

Al Ing. Raymundo Cuellar Chávez por ser parte de esta investigación.

A mis compañeras de casa Xóchitl y Yazmin, gracias por formar parte de mi vida, por su amistad sincera y por siempre estar ahí en cualquier situación.

A mis compañeros y amigos Frank, Emmanuel y Marco por su amistad y todos los buenos momentos que compartimos juntos a lo largo de este camino

A la familia Álvarez Saucedo por ser unas personas maravillosas que aún sin conocerme me abrieron las puertas de su casa, me brindaron su amistad y confianza, me apoyaron en todo momento y sobre todo me hicieron sentir parte de la familia.

**A todos ustedes gracias!**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por darme la vida y por iluminar siempre mi camino.

### **A mis padres**

Herón Pérez & Reyna Avalos por haberme forjado como la persona que soy ahora, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye éste.

### **A mis hermanos**

Por siempre motivarme a alcanzar mis anhelos y siempre creer que cumpliría esta meta.

**¡Con cariño, Jimena!**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                                              | iv   |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                                                  | v    |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....                                          | vi   |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....                                            | viii |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                                            | ix   |
| <b>RESUMEN</b> .....                                                      | x    |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                                 | 1    |
| Objetivo General .....                                                    | 2    |
| Objetivos específicos .....                                               | 2    |
| Hipótesis .....                                                           | 3    |
| <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                                       | 4    |
| Importancia del Maíz en México .....                                      | 4    |
| Relevancia del Maíz Nativo .....                                          | 4    |
| Producción Nacional de Maíz .....                                         | 5    |
| Clasificación Taxonómica del Maíz .....                                   | 6    |
| Descripción Botánica .....                                                | 6    |
| Raíz .....                                                                | 6    |
| Tallo .....                                                               | 7    |
| Hojas .....                                                               | 7    |
| Flores .....                                                              | 7    |
| Fruto .....                                                               | 8    |
| Grano .....                                                               | 8    |
| Generalidades de la Categorización de las Razas de Maíz .....             | 9    |
| Concepto de raza .....                                                    | 9    |
| Agrupación de las Razas de Maíz por Wellhausen <i>et al.</i> (1951) ..... | 9    |
| Descripción de las Razas de Maíz del Presente Estudio .....               | 11   |
| Tabloncillo .....                                                         | 11   |
| Olotillo amarillo .....                                                   | 12   |
| Dulce amarillo Jalisco .....                                              | 12   |
| Zapalote Chico .....                                                      | 13   |

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tuxpeño .....                                                         | 13        |
| Bolita .....                                                          | 14        |
| Conservación <i>In situ</i> y <i>Ex situ</i> .....                    | 14        |
| Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal en Gramíneas .....       | 15        |
| Bacterias fijadoras de nitrógeno en maíz.....                         | 16        |
| La importancia de las raíces aéreas en el maíz.....                   | 17        |
| Fijación biológica de nitrógeno a través de bacterias .....           | 18        |
| Consumo de Fertilizantes Nitrogenados a Nivel Nacional.....           | 18        |
| Consecuencias ambientales del uso de fertilizantes nitrogenados ..... | 19        |
| Importancia del Uso de Biofertilizantes .....                         | 20        |
| Análisis Multivariados .....                                          | 20        |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>                                     | <b>22</b> |
| Material Genético .....                                               | 22        |
| Aislamiento de las bacterias de rizosfera y mucílago de maíz .....    | 23        |
| Variables Evaluadas .....                                             | 25        |
| Análisis Estadísticos .....                                           | 26        |
| Análisis factorial .....                                              | 26        |
| Análisis de componentes principales.....                              | 27        |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                   | <b>29</b> |
| Características Cualitativas de las Acciones de Maíz .....            | 29        |
| Análisis de Varianza Bifactorial.....                                 | 29        |
| Prueba de medias .....                                                | 33        |
| Análisis de Componentes Principales .....                             | 35        |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                                             | <b>38</b> |
| <b>LITERATURA CITADA .....</b>                                        | <b>39</b> |
| <b>APÉNDICE .....</b>                                                 | <b>47</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Genotipos correspondientes a seis accesiones establecidas en el campo experimental del Banco de Germoplasma. ....                                                                                           | 22 |
| <b>Cuadro 2.</b> Tratamientos generados con el diseño experimental de bloques al azar con arreglo bifactorial: A (tratamientos), B (genotipos) y cuatro repeticiones (R). ....                                               | 22 |
| <b>Cuadro 3.</b> Ubicación geográfica de la parcela de evaluación. ....                                                                                                                                                      | 23 |
| <b>Cuadro 4.</b> Características del ensayo efectuado en campo experimental del Banco de Germoplasma de UAAAN para evaluar la respuesta de seis genotipos de maíz a los diferentes tratamientos de fertilización. ....       | 23 |
| <b>Cuadro 5.</b> Genotipos de maíz sembrados en el Banco de Germoplasma de la UAAAN durante el ciclo P-V 2018 de los cuales se aislaron las bacterias fijadoras de nitrógeno. ....                                           | 25 |
| <b>Cuadro 6.</b> Características cualitativas de los seis genotipos de maíz. ....                                                                                                                                            | 29 |
| <b>Cuadro 7.</b> Cuadrados medios y coeficientes de variación (C.V. %) del análisis bifactorial de las características evaluadas en seis genotipos de maíz. ....                                                             | 30 |
| <b>Cuadro 8.</b> Promedios de tratamientos y genotipos: G1 (Tabloncillo), G2 (Olotillo amarillo), G3 (Dulce de Jalisco), G4 (Zapalote chico), G5 (Tuxpeño) y G6 (Bolita). de las variables evaluadas y prueba de Tukey. .... | 34 |
| <b>Cuadro 9.</b> Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de variables evaluadas en seis genotipos de maíz. ....                                                                            | 35 |
| <b>Cuadro 10.</b> Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el ACP. ....                                                                                                                                 | 37 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Promedios de la interacción entre tratamientos (A) por genotipos (B) para la variable MxP en seis razas de maíz: G1 (Tabloncillo), G2 (Olotillo amarillo), G3 (Dulce de Jalisco), G4 (Zapalote chico), G5 (Tuxpeño) y G6 (Bolita). .....                                                                              | 30 |
| <b>Figura 2.</b> Interacción de AxB en la variable nudos con raíces aéreas en las seis razas de maíz criollo: G1 (Tabloncillo), G2 (Olotillo amarillo), G3 (Dulce de Jalisco), G4 (Zapalote chico), G5 (Tuxpeño) y G6 (Bolita).....                                                                                                    | 31 |
| <b>Figura 3.</b> Mucílago de raíz aérea. Las raíces aéreas del maíz Sierra Mixe (izquierda) secretan grandes cantidades de mucílago entre 3 y 6 meses después de la siembra. El mucílago es rico en carbohidratos, con una composición dominada por arabinosa. .                                                                       | 32 |
| <b>Figura 4.</b> Expresión del mucilago en el experimento:A) Inoculación del caldo nutritivo con la bacteria a las plantas a los 59 días post trasplante en campo, B) Mucílago de raíz aérea, C) Incremento de la producción del mucílago en el segundo nudo de raíz aérea y D) Planta prolífica de Zapalote chico en la cosecha. .... | 33 |
| <b>Figura 5.</b> Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de seis genotipos de maíz en base a los dos primeros componentes principales. ....                                                                                                                                                                  | 36 |
| <b>Anexo 1.</b> Fotografías de las seis accesiones de maíz evaluadas en la presente investigación. ....                                                                                                                                                                                                                                | 47 |

## RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante de México y ocupa la mayor superficie de siembra a nivel nacional, por lo tanto, requiere altas cantidades de fertilizantes nitrogenados inorgánicos. Actualmente se utilizan alternativas como la aplicación de biofertilizantes para reducir la contaminación de los suelos agrícolas por ende el principal objetivo de la presente investigación es probar el efecto de dos tratamientos de fertilización (bacteria fijadora de nitrógeno y fertilización inorgánica) y un testigo sin fertilizar sobre el comportamiento agronómico de seis razas de maíz, así mismo estudiar la relación que existe entre los genotipos y las variables evaluadas. El experimento se estableció durante el ciclo P-V 2019 en el campo experimental del Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), bajo el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con un arreglo bifactorial, donde el factor A estuvo formado por tres tratamientos: A1 (aplicación de la bacteria); A2 (aplicación de fertilizantes inorgánicos) y A3 (sin fertilizante) y el factor B por seis genotipos de maíz, que comprenden las accesiones de las razas de maíz: Tabloncillo, Olotillo amarillo, Dulce amarillo de Jalisco, Zapalote chico, Tuxpeño y Bolita de Oaxaca, que se resguardan en el Banco de Germoplasma de la UAAAN. Se evaluaron las variables: días a floración masculina (DFM), altura de la planta (AP), altura de la mazorca (AM), diámetro de tallo (DT), mazorcas por planta (MxP), nudos con raíces aéreas (NRA) y peso de mazorca estandarizado al 10% de humedad (PM10%H).

Se utilizó el análisis de varianza de bloques al azar con arreglo bifactorial y de componentes principales en el análisis de los datos. Los resultados obtenidos indican que con la aplicación del tratamiento A1 (bacteria) se obtuvieron estadísticamente ( $p < 0.05$ ) promedios superiores en relación a todos los genotipos en las variables: DT, NRA y MxP. Para el factor B, en promedio para todos los tratamientos el genotipo Bolita tuvo la mejor respuesta para la variable PM10%H (96.0 g), observándose que con la aplicación del tratamiento A1 (bacteria) estadísticamente ( $p < 0.05$ ) fue el

tratamiento con un promedio de 109.6 g. Con el análisis de componentes principales se explicó el 86.4% de la variación total de los datos. Con respecto a la relación entre genotipos y variables, el criollo Bolita se caracterizó tener el más alto PM10%H. Los genotipos: Tabloncillo, Olotillo y Zapalote chico tuvieron los más altos promedio para la variable MxP, y los genotipos Dulce de Jalisco y Tuxpeño se caracterizaron por ser los más tardíos presentando los más altos promedios para las variables: DFM, AP, AM, DT y NRA.

**Palabras Clave:** *Zea mays* L., Bacterias, Razas de maíz y Análisis de componentes principales.

## INTRODUCCIÓN

En la producción mundial de cereales del ciclo 2020-2021, el maíz (*Zea mays* L) es el cultivo más importante con una producción de maíz grano de 1,115 millones de toneladas, superando a los cultivos de trigo y arroz. En el ciclo 2020-2021 la producción de maíz en México cerró en septiembre de 2021, sin problemas de abasto para el mercado nacional con una producción de 24.5 millones de toneladas (SIAP, 2021). El maíz es un ingrediente esencial en la elaboración de cerca de cuatro mil productos. Para la fabricación de éstos, se emplean algunos de los subproductos del maíz, como el jarabe, el aceite, la harina o la fécula. Las bebidas dulces, como los jugos o refrescos; la pintura, el papel, la pasta de dientes, y hasta los cosméticos son algunos ejemplos. También se ha incrementado el uso mundial de maíz para la elaboración de biocombustibles, como el etanol. Por eso cada vez más extensiones de tierra se dedican al cultivo del maíz para este fin en otros países (SIAP, 2012).

A nivel nacional existe un interés por conservar la biodiversidad genética del maíz y sus parientes silvestres. Navarro *et al*, (2012) señalan que las condiciones ecológicas de las unidades de producción de los pequeños productores son diversas y en la mayoría de ellas se produce maíz de grano de origen criollo, desempeñando importantes roles social, económico y cultural. Las variedades nativas o criollas de maíz, permiten a los agricultores seleccionar el grano que mejor se adapte a las necesidades de clima y producción. Sin embargo, la importancia en calidad de la tortilla es un factor que ha propiciado que algunas variedades criollas no puedan ser desplazadas, por encima de los criterios de productividad y rentabilidad.

Como señalan Hernández *et al*. (2015) este cultivo depende fundamentalmente de la aplicación de insumos químicos como lo son los fertilizantes químicos que representan 20–30% de los costos de producción del cultivo y cuando son correctamente utilizados incrementan la productividad y rentabilidad; sin embargo, cada año aumenta la cantidad de fertilizantes por aplicar, debido a la menor eficiencia de absorción en el

suelo y absorción por la planta. Un reto para México es mantener la creciente demanda de maíz (*Zea mays* L.) mediante el sistema de producción intensiva. Normalmente, se aplican al suelo altas dosis de fertilizante nitrogenado, lo que causa deterioro del suelo, con riesgo adicional de contaminar las aguas superficiales y subterráneas (Plata *et al.*, 2020). Generalmente, la hiperfertilización nitrogenada eleva el costo de producción del grano de maíz.

Una alternativa es la aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de maíz, al respecto van Deynze *et al.* (2018) indican que los altos niveles de fijación de nitrógeno en una variedad criolla del estado de Oaxaca cultivada en el campo sin aplicación de fertilizantes nitrogenados son respaldados, al menos en parte, por la abundante producción de un mucílago rico en azúcar asociado con las raíces aéreas que proporciona un hogar a un complejo microbioma fijadora de nitrógeno. Dando como resultado que, en la variedad local de maíz, entre el 29 % y el 82 % del nitrógeno fijado en la planta se deriva del nitrógeno atmosférico.

Por lo anterior se realizó el presente experimento con los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

Probar el efecto de dos tratamientos de fertilización (bacteria fijadora de nitrógeno y fertilización inorgánica) y un testigo sin fertilizar sobre el comportamiento agronómico de seis razas de maíz, así como la relación que existe entre los genotipos y las variables evaluadas.

### **Objetivos específicos**

1. Comparar el efecto de la aplicación bacteria fijadora de nitrógeno (tratamiento A1), con respecto a la fertilización inorgánica (tratamiento A2) y un testigo sin fertilizar (tratamiento A3) sobre las características agronómicas de seis razas de maíz
2. Evaluar la respuesta agronómica de seis razas de maíz a la aplicación de cada uno de los tres tratamientos de fertilización.

## **Hipótesis**

H1a. Con la inoculación de la bacteria como tratamiento A1 se espera una respuesta superior a los tratamientos A2 y A3 en al menos alguna de las características evaluadas.

H1o. No se presentan diferencias significativas con la inoculación de la bacteria como tratamiento A1, que superen a los tratamientos A2 y A3 en al menos de alguna de las características evaluadas.

H2a. Se espera que al menos uno de los genotipos evaluados tenga una respuesta favorable a la aplicación del tratamiento A1, sobre alguna de las variables evaluadas.

H2o. No se obtuvieron diferencias entre los genotipos con la aplicación del tratamiento A1, sobre las características evaluadas.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## **Importancia del Maíz en México**

Desde el punto de vista alimentario, en México, el cereal de mayor importancia es el maíz, que ha sido un alimento base y el cultivo de mayor importancia histórica y cultural en el país.

En la actualidad hay bastante más de 300 variedades derivadas de 64 razas de maíces originarios en el territorio mexicano. Millones de familias campesinas lo han producido ininterrumpidamente a lo largo de 350 generaciones, por lo cual es considerado patrimonio biocultural de las y los mexicanos. El maíz todavía es el cultivo insustituible para el autoconsumo de sociedades campesinas e indígenas. Junto con la producción de tortilla, su primordial forma de consumo, es la base de la ingesta de alimentos de la mayoría de la población urbana y semiurbana. Sin embargo, la industrialización y el mercado universal han transformado de manera significativa las maneras en las que se crea y consume el maíz en México (Böll, 2019).

El consumo *per cápita* de maíz en México es alrededor de 350 g al día por persona, incluyendo principalmente tortillas y los más de 600 distintos platillos de la gastronomía mexicana, muchos de ellos basados en el proceso de nixtamalización del grano, el cual tiene relación con un aumento de su calidad nutricional (CONABIO, 2020).

## **Relevancia del Maíz Nativo**

El interés y la relevancia nacional que existe y ha retomado fuerza por conservar la biodiversidad genética del maíz (*Zea mays L.*) y a sus parientes silvestres se debe a la inminente pérdida de esta diversidad debido a distintos factores externos.

Dentro de nuestro país la diversidad genética de los maíces criollos se mantiene de manera inminente a la siembra y cosecha dirigida principalmente al uso de este cereal

en la alimentación básica de las comunidades rurales e indígenas; los cuales, a la vez, son promotores naturales de la conservación y generación de la biodiversidad *in situ*. Sin embargo, Vidal *et al.* (2010) indican que los maíces nativos como polos fitogenéticos de biodiversidad se ven amenazados de forma creciente por factores, socioeconómicos, políticos, comerciales, bióticos y abióticos

González *et al.* (2016), consideran que la selección de maíces criollos permite desarrollar variedades adaptadas a las condiciones naturales y socioeconómicas de los productores, prácticamente con los mismos recursos de una explotación comercial, pero con la ventaja de obtener un rendimiento gradualmente mayor en relación a la variedad original, sin perder la diversidad genética en este importante cultivo, básico para la seguridad y soberanía alimentaria del país.

### **Producción Nacional de Maíz**

México ocupa el 8° lugar en producción mundial de maíz, en 2017 exportó a 17 países, en términos de valor principalmente a Venezuela (58%), Kenia (33%) y Estados Unidos (4%), entre otros (6%) lo que nos ubica como el 10° Exportador mundial de maíz grano (ASERCA, 2018).

La Producción de maíz en 2017 fue de 27.8 millones de toneladas, mientras que la superficie Sembrada en el mismo año fue de 7.5 millones de hectáreas, gran parte del territorio nacional es propicio para la producción por lo que en los 32 Estados de la República Mexicana se produce Maíz Grano. Los principales Estados productores son Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (6%), Guerrero (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los Estados representan el (20%) restante (ASERCA, 2018).

SADR (2020) señala que la importancia alimentaria, industrial, política, económica, cultural y social que tiene el cultivo de maíz en nuestro país proviene de los pequeños productores encargados, mayormente, de la siembra en su forma comercial, así como de las variedades nativas. Estos aportan alrededor de 60 % de la producción nacional y junto con los medianos productores (de hasta 10 t/ha), suman el 91 % de la superficie



sembrada, lo que significa que juntos aportan alrededor del 75 % de la producción nacional de maíz.

### **Clasificación Taxonómica del Maíz**

De acuerdo con Cabrerizo (2012) la clasificación taxonómica del maíz es la siguiente

**Reino:** *Vegetal*

**Subreino:** *Embriobionta*

**División:** *Angiospermae*

**Clase:** *Monocotyledoneae*

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Género:** *Zea*

**Especie:** *Mays*

**Nombre científico:** *Zea mays*

### **Descripción Botánica**

La planta de maíz pertenece a la familia *Poaceae*, sus células poseen  $2n$  cromosomas (10 pares), es de régimen anual, herbácea, de tamaño regular desde 60 cm hasta 2,4 m dependiendo del lugar donde es cultivada, por la posición de las flores a la planta se le clasifica como monoica es decir con flor masculina y femenina en distintas partes de la misma planta. Es una planta de tallo erguido, macizo y ahueco. La altura es muy variable. (Oñate, 2016)

### **Raíz**

La raíz de una planta de maíz es fasciculada con un potente desarrollo, es el primero de los componentes del embrión que brota cuando la semilla germina. En una planta

madura, las raíces pueden profundizar hasta 1,8 m y explorar una superficie en círculo de 2 m de diámetro.

Tienen tres tipos de raíces que son los siguientes:

- Seminales: Nacen en la semilla después de la radícula para afirmar la planta, no son permanentes.
- Permanentes: En este grupo están incluidas las principales y secundarias, éstas nacen por encima de las primeras raicillas en una zona llamada corona, este grupo constituye el llamado sistema radicular principal.
- Adventicias: Nacen de los nudos inferiores del tallo y actúan de sostén en las últimas etapas del crecimiento, absorbiendo a la vez agua y sustancias nutritivas.

## **Tallo**

Está formado por una sucesión de nudos y entrenudos, los primeros son zonas abultadas de los cuales se producen la elongación de los entrenudos y se diferencian las hojas. Cada nudo es el punto de interacción de una hoja. El tallo puede crecer hasta 4 m e incluso más en algunas variedades. Los tallos son muy robustos, y dependiendo de la precocidad de cultivar pueden alcanzar entre 12 y 24 nudos aéreos.

## **Hojas**

Las Hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes. Su color usual es verde, pero se puede encontrar hojas rayadas de blanco y verde o verde y púrpura. El número de hojas por planta varía entre 8 a 25.

## **Flores**

Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) consta de un eje central o raquis y ramas

laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas, en cada florecilla componente de la panícula hay 3 estambres donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada. Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen (CONABIO, INIFAP, & INECC, 2011)

### **Fruto**

La mazorca o fruto, está formado por el raquis y olote, en el cual van un par de glumas externas, dos yemas, dos paleas y dos flores, una estéril y otra fértil por lo que el número de hileras de mazorcas es par. Toda la inflorescencia femenina está protegida por las brácteas que tienen como función la protección del grano. Si la flor femenina es fecundada, dará lugar a granos, más o menos duros, lustrosos, de color amarillo, púrpura o blanco; los granos se organizan en hileras que pueden variar entre ocho y treinta filas por mazorca, cada una con 30 a 60 granos, por lo que una mazorca puede tener de 400 a 1000 granos. El 46% del peso total de la mazorca corresponde al peso de las brácteas y el 54% restante al raquis y a los granos, del cual el 29% es materia comestible.

### **Grano**

El fruto y la semilla forman un solo cuerpo que tienen la forma de un cariósipide brillante, de color amarillo, rojo, morado, blanco y que se los denomina vulgarmente como granos dentro del fruto que es el ovario maduro, la semilla está compuesta de la cubierta o pericarpio, el endospermo amiláceo y el embrión o germen.

## **Generalidades de la Categorización de las Razas de Maíz**

### **Concepto de raza**

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (CONABIO *et al.*, 2010)

McClintock *et al.*, (1981) proponen considerar como raza a las plantas que comparten un conjunto particular de caracteres, por lo cual han recibido un nombre que refleja alguna asociación especial. Señalan que una raza puede referirse a: 1) la presencia de un carácter o atributo fenotípico pronunciado, tal como cónico por la forma de la mazorca o reventador por la habilidad de los granos para reventar; 2) la región o territorio donde un maíz con un conjunto particular de caracteres se reconoció inicialmente o llegó a ser prominente, por ejemplo, Tuxpeño, Chalqueño, Salvadoreño, otros; y 3) por el grupo indígena que lo cultiva como una forma distintiva de su maíz.

Actualmente Torre (2016) menciona que las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y 5 que fueron descritas inicialmente en otras regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala Nal-Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero que también se han colectado o reportado en el país.

### **Agrupación de las Razas de Maíz por Wellhausen *et al.* (1951)**

De acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), como resultado de la recolecta realizada en México se reconoce la existencia de los siguientes grupos de razas:

- Razas Indígenas Antiguas

Son aquellas que se creó que se originaron en México del maíz primitivo tunicado, reliquias que han sido encontradas en Nuevo México. Las diversas razas en este grupo difieren una de otra como consecuencia de su desarrollo independiente en diferentes

localidades y medios ambientales, pero como se han originado del mismo progenitor sin hibridación, aún mantienen muchos caracteres importantes en común.

Actualmente se reconocen cuatro de estas razas: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Chapalote y Nal-Tel. Todas estas, así como el progenitor primitivo, son maíces reventadores o palomeros. Cada una de las razas muestran mazorcas pequeñas y son subjetivamente precoces, al menos en las zonas donde todavía se cultivan.

➤ Razas Exóticas Pre-colombianas

Se creó que estas razas fueron introducidas a México de Centro o Sur América durante épocas prehistóricas. Se reconocen cuatro de éstas: Cacahuacintle, Harinoso de Ocho, Olotón y Maíz dulce. Las pruebas de su antigüedad y exotismo se derivan de que todas tienen representación en los maíces de Sur América y todas con excepción del Maíz Dulce, han sido progenitores de razas híbridas.

➤ Razas Mestizas Prehistóricas

Están constituidas por razas que se creó se originaron por medio de hibridaciones entre las razas Indígenas Antiguas y las razas Exóticas Pre-colombianas y por medio de la hibridación de ambas con un nuevo elemento, el teocintle. Varias de éstas pueden haberse originado como consecuencia de las migraciones de los primeros colonizadores.

El número de posibles razas híbridas que podrían derivarse directamente por medio de hibridaciones entre los nueve elementos diferentes (ocho razas y teocintle) es de treinta y seis. Hasta ahora solo se han reconocido trece razas de este tipo.

Actualmente, solo cinco de las razas que se incluyen en este grupo, se consideran como productos primarios del cruzamiento entre variedades más antiguas o de la hibridación con teocintle; las otras son productos secundarios o aun terciarios de hibridaciones entre razas y sus genealogías son excesivamente complejas.

➤ Razas Modernas Incipientes

Componen el cuarto y último grupo de razas bien definidas, son razas que se han desarrollado desde la época de la Conquista y que aún no han alcanzado condiciones de uniformidad racial. En algunos casos el origen de estas razas es en realidad bastante reciente. La raza Celaya, por ejemplo, que es la raza agrícolamente más importante del Bajío, es todavía variable en muchos aspectos, pero posee ya cierto número de características que hacen que se distinga como una raza, se le cultiva extensamente y su importancia agrícola sigue aumentando.

➤ Razas no Bien Definidas

Se han agrupado aquí, bajo la categoría de razas no bien definidas, aquellas razas o tipos que han sido recolectados y se ha reunido poca información para justificar su clasificación y la presentación de sus genealogías con un grado suficiente de seguridad.

### **Descripción de las Razas de Maíz del Presente Estudio**

#### **Tabloncillo**

Esta raza pertenece al grupo de las razas Mestizas Prehistóricas, se caracteriza por sus mazorcas alargadas, de grano dentado a semicristalino, con coloraciones del blanco, amarillo, anaranjado y “ahumado” La raza tabloncillo tuvo su origen del cruzamiento natural de las razas Harinoso de Ocho y Reventador. Dentro de esta raza se distinguen los tipos Tabloncillo Blanco, Tabloncillo Ahumado y Tabloncillo Perla, los dos primeros cultivados a altitudes de 1,000 a 1,500 m y el tercero en altitudes menores a 1,000 m. Es de amplia distribución en el occidente y noroeste del país, desde Michoacán, Jalisco, Nayarit y Sinaloa hasta las zonas bajas de las sierras de Sonora, en Chihuahua y Baja California Sur (Wellhausen *et al.*, 1951; Mota *et al.*, 2010).

Mota *et al.* (2010) mencionan que es una de las razas de uso comercial de mayor distribución en el occidente de México y probablemente una de las más productivas previo a la expansión de los materiales híbridos, aunque en los últimos 10 años se ha reducido su extensión de siembra. Se usa principalmente para su consumo como elote,

tortilla y pozoles y se reporta también para la preparación de un tipo de bebida fermentada conocida como “piznate”.

### **Olotillo amarillo**

Se caracteriza por sus mazorcas alargadas de olote delgado y flexible, grano dentado a semiharinoso con numerosas variantes en color. De acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), se desconoce la ascendencia de Olotillo, pero es probable que proceda de la evolución directa de plasma germinal de teocintle. Se clasifica dentro del grupo de las razas Mestizas Prehistóricas.

Su principal centro de distribución es el alto Grijalva en Chiapas, pero su presencia e influencia se extiende a las regiones costeras y laderas adyacentes de la vertiente del Pacífico en Oaxaca y Guerrero, así como a las zonas costeras, piedemontes y laderas de barlovento en la vertiente del Golfo de México, desde el norte de Oaxaca, hasta Veracruz, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí (Gómez *et al.* 2015).

Sus usos son comunes, es un material de grano suave con buen rendimiento de tortilla

### **Dulce amarillo Jalisco**

Se agrupa dentro de las razas exóticas Pre-colombianas y es una raza de maíz de mazorca cónica a semicilíndrica que se caracteriza por sus granos de diferente coloración con alto contenido de sacarosa, lo que les da una apariencia rugosa al secarse –condición por la que se denomina textura de grano “dulce”, que se aplica a otras razas que expresan esta característica (Wellhausen *et al.*, 1951). Por su grano dulce se destina principalmente para usos especiales, tales como pinole, “ponteduro”, elote, esquites y también se usa en sopas y caldos.

Se cultiva en el occidente del país, principalmente en los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Zacatecas, en altitudes de 1,500 a 2,400 m. (Mota *et al.*, 2010).

## **Zapalote Chico**

Zapalote Chico se puede considerar derivada de germoplasma de Nal-Tel y Tepecintle. Esta raza pertenece al grupo de las razas Mestizas Prehistóricas (Wellhausen *et al.*, 1951). La Raza es endémica de la planicie costera del istmo de Tehuantepec, base alimenticia de la población zapoteca y mestiza de esta región. Se extiende a las regiones costeras aledañas de Oaxaca y Chiapas hasta una altitud de 600 m, aunque se ha reportado como muestras aisladas o con influencia en otras razas hasta 1,550 y 1,900 m (CONABIO, 2011).

Es una de las razas importantes para el mejoramiento por sus características fisiológicas, morfológicas y agronómicas sobresalientes: índice de cuateo, insensibilidad al fotoperiodo, ciclo corto, alta eficiencia fotosintética y potencial hídrico bajo sequía; planta baja resistente al viento, al acame, al calor, a enfermedades foliares y al gusano cogollero; excelente calidad elotera; excelente cobertura de mazorca que protege al grano de plagas y enfermedades; alto coeficiente de desgrane, buen rendimiento (Perales *et al.*, 2010). Se ha utilizado en mejoramiento genético internacional como fuente de estas características. Es una raza que posee plantas pequeñas y que se puede sembrar en alta densidad obteniendo hasta tres cosechas por año. Incluyendo una mayor cantidad de proteína entre maíces nativos (12.7% en promedio). Germen grande (mayor cantidad de aceite). Es utilizada especialmente para elaborar los tradicionales “totopos” del Istmo, aunque también se usa para elote y en la preparación de atole y elaboración de tortilla

## **Tuxpeño**

Esta raza se caracteriza por sus mazorcas grandes, cilíndricas, de grano dentado, predominando los colores blancos, pero puede presentar diversos colores. Esta raza es de los materiales más productivos de las áreas tropicales, tiene porte alto de planta, mazorca larga, cilíndrica y con un número de hileras de 12 a 16, lo que la hace una de las razas más productivas de México; presenta muy buena calidad agronómica en planta y resistencia a enfermedades (Wellhausen *et al.*, 1951; Aragón *et al.*, 2006;



Mota *et al.*, 2010). Tuxpeño es intermedio entre las razas Tepecintle y Olotillo, que se postulan como sus probables progenitores.

Perales *et al.* (2010) describen que esta raza es muy importante a nivel nacional y la más utilizada para mejoramiento. Por sus características agronómicas sobresalientes ha sido una de las principales fuentes de germoplasma en el mejoramiento, público y privado, de maíces para zonas tropicales y subtropicales de varias regiones del mundo y como fuente de germoplasma en la ampliación de la base genética de híbridos de la Faja Maicera en los Estados Unidos de Norteamérica. Tiene un amplio uso y variado, para tortilla, elote, pozol (bebida fermentada muy apreciada en las zonas tropicales del país), tamales, etc.

### **Bolita**

Esta raza se caracteriza por sus plantas de porte bajo y maduración precoz; tiene mazorcas cortas provistas de buena cobertura (totomoxtle), con pocas hileras de granos de tamaño mediano de apariencia redonda y una amplia variedad de colores (Wellhausen *et al.*, 1951; Aragón *et al.*, 2006,).

Tiene su origen en los Valles Centrales de Oaxaca; se ha colectado en otras regiones de dicho estado (Mixteca) y en regiones adyacentes en los estados de Puebla y Guerrero, donde se ha reportado también su introgresión con otras razas, por lo que su área de adaptación es muy amplia.

Formas precoces de la raza Bolita dieron lugar a las variedades VS 201 y CAFIME (Mota *et al.*, 2010) que se usaron y se siguen usando en algunas zonas como generaciones avanzadas en áreas templadas semiáridas de altura (llanos del norte de Guanajuato, Zacatecas, Durango y Chihuahua, Coahuila).

### **Conservación *In situ* y *Ex situ***

En los esquemas de conservación de recursos fitogenéticos se han desarrollado dos opciones: la conservación *ex situ* e *in situ*.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992), define que la conservación *in situ* “es la conservación, mantención y recuperación de poblaciones viables en sistemas dinámicos y evolutivos del hábitat original o, en el caso de especies cultivadas, en el entorno en que hayan desarrollado sus características” y la conservación *ex situ* se define como “la conservación de muestras genéticamente representativas de las especies o cultivos, que se mantienen viables a través del tiempo, fuera de sus hábitats naturales o lugares de cultivo, en ambientes controlados y con el apoyo de tecnologías adecuadas, un ejemplo de ello son los Bancos de Germoplasma.

SEMANART *et al.* (2008) enfatizan que tanto la conservación *ex situ* como *in situ* son actividades que se complementan en el marco de una política nacional de soberanía alimentaria, productiva y de territorios. Por una parte, es importante fortalecer y financiar la infraestructura donde actualmente se lleva a cabo la conservación *ex situ*, por otra generar mecanismos que propicien la conservación de materiales criollos o nativos entre los agricultores del país.

### **Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal en Gramíneas**

De acuerdo a un estudio de Boonjawat *et al.* (1991) se menciona que diversas bacterias asociativas de vida libre son consideradas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), debido a su capacidad para estimular directamente el crecimiento de las plantas, a través de diversos mecanismos, como el aporte de nitrógeno por el proceso de fijación biológica de nitrógeno atmosférico, producción de sustancias reguladoras del crecimiento (Arshad & Frankenberger, 1998), solubilización de minerales y nutrimentos (Crowley *et al.*, 1991), incremento en el volumen de la raíz (Bowen & Rovira, 1999), inducción de resistencia sistémica a patógenos (van Peer *et al.*, 1991), e interacción sinérgica con otros microorganismos del suelo (Cano, 2011).

Las asociaciones microbianas fijadoras de nitrógeno con no leguminosas, especialmente cereales, han sido un tema de gran interés durante más de un siglo. En los últimos años, se ha investigado el papel de las bacterias de la rizosfera o rizobacterias de diversas gramíneas como caña de azúcar (Boddey *et al.*, 1995), arroz

(Irisarr *et al.*, 2008), maíz (Seldin *et al.*, 1998; van Deynze *et al.*, 2018), trigo y sorgo (Baldani *et al.*, 1986).

Smith & Goodman (1999) afirman que el genotipo de los organismos involucrados puede jugar un papel importante en la conformación de la asociación entre microorganismos y plantas, y determinar el resultado biológico de dicha asociación.

En las gramíneas, la composición cuantitativa y cualitativa de los microorganismos en la rizosfera varía entre especies e incluso entre genotipos de la misma especie, lo cual se atribuye principalmente a las variaciones intrínsecas de cada planta en particular, en términos de la cantidad y calidad de los exudados radicales (Rengel, 1997). Además de las características de la planta, la disponibilidad de nutrientes en la rizosfera está controlada por los efectos que ejercen las propiedades del suelo sobre las interacciones de las raíces con los microorganismos. Loper *et al.* (1985) mencionan que la capacidad de las bacterias para afectar el crecimiento de las plantas no solo depende de su abundancia, sino de su capacidad para proliferar a través de la raíz.

### **Bacterias fijadoras de nitrógeno en maíz**

El maíz es un cereal de consumo básico en México y requiere de aplicación continua de fertilizante nitrogenado que cuando no se aplica racionalmente, causa pérdida de fertilidad del suelo, eleva el costo de producción de este grano y además reduce su área de cultivo.

Citando a van Deynze *et al.* (2018), plantean que las razas autóctonas aisladas de maíz cultivadas con prácticas tradicionales con poco o ningún fertilizante podrían haber desarrollado estrategias para mejorar el rendimiento de las plantas en condiciones de nutrientes bajos en nitrógeno. Los altos niveles de fijación de nitrógeno son respaldados, al menos en parte, por la abundante producción de un mucílago rico en azúcar asociado con las raíces aéreas que proporciona un hogar a un complejo microbioma fijador de nitrógeno.

Es necesario mencionar que, el proceso por el cual las bacterias se mueven hacia la raíz aérea y la colonizan, no es muy claro. No obstante, a través de los años se han

propuesto algunos factores que favorecen este proceso, como: mayor disponibilidad de carbono (Sprent & D’Faria, 1988), condiciones favorables de humedad (Herman *et al.*, 1994), tiempo de generación y quimiotaxis (Mandinba *et al.*, 1986; Bowen & Rovira, 1999), aerotaxis (Zhulin *et al.*, 1996), adhesión (Boonjawat *et al.*, 1991; Paul & Clark, 1996) y la capacidad de movimiento (Beauchamp *et al.*, 1991).

Las BPCV pueden clasificarse como nativas o autóctonas cuando son endémicas del lugar donde se van a aplicar y exógenas, cuando son aisladas de otros lugares (Amezquita *et al.*, 2021).

Kaur & Reddy (2013) demostraron que las cepas de bacterias nativas asociadas al cultivo de maíz tienen la capacidad de facilitar la interacción microorganismo-planta para mejorar los parámetros de crecimiento de la planta, como la longitud de los brotes y de las raíces, así como un aumento del rendimiento del cultivo. Sin embargo, el éxito del inoculante en el campo no está asegurado, debido a la influencia de varios factores importantes como las condiciones climáticas, la microbiota nativa y su formulación (Dutta & Podile, 2010).

Aunado a esto Douds & Millner (1999) opinan que son importantes para el desarrollo de las interacciones entre planta-suelo-microorganismos-ambiente; algunas prácticas culturales, como la mecanización, la rotación de cultivos, la utilización del riego, entre otras, modulan la interacción.

### **La importancia de las raíces aéreas en el maíz**

A las raíces que surgen en la planta adulta desde el tallo, hojas u otras raíces se les denomina raíces adventicias (Megías *et al.*, 2018). Son raíces que surgen tras el periodo embrionario a partir de células próximas a los haces vasculares de cualquiera de estos órganos. Algunas que de estas raíces son aéreas y sus células pueden tener cloroplastos.

Las raíces aéreas en la base del brote de maíz, también conocidas como raíces de refuerzo o raíces adventicias nodales, a menudo pueden llegar al suelo y se cree que brindan anclaje para evitar el acame, pero también pueden contribuir a la absorción de

nutrientes y agua, así como al intercambio de gases. Sin embargo, se sabe muy poco sobre el papel de las raíces aéreas que no llegan al suelo y el mucílago que producen (van Deynze *et al.*, 2018)

### **Fijación biológica de nitrógeno a través de bacterias**

El nitrógeno molecular ( $N_2$ ) que existe en la atmósfera no es fácilmente asimilable por los vegetales debido a que el triple enlace que une los átomos que forman la molécula es difícil de romper; la única forma de aprovechar el nitrógeno atmosférico es mediante el proceso metabólico conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), el cual asegura la disponibilidad de nitrógeno en los ecosistemas naturales (Lara *et al.*, 2007).

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es la reducción enzimática de nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a amonio ( $NH_4$ ). Augustus *et al.* (1999) afirman que este proceso es exclusivo de algunas bacterias, denominadas bacterias diazotróficas. La FBN en un suelo, ocupado por gramíneas, depende del estado en el cual se encuentra el nitrógeno en ese suelo y su relación con el estado y contenido de carbono.

El proceso de reducción de  $N_2$  a  $NH_4$  está catalizado por el complejo enzimático nitrogenasa, que consta de dos proteínas distintas llamadas dinitrogenasa y dinitrogenasa reductasa, las cuales son metaloenzimas. Ambos componentes tienen hierro y la dinitrogenasa también contiene molibdeno. En la dinitrogenasa, el hierro y el molibdeno forman parte de un cofactor conocido como FeMo-co, el cual es el centro donde ocurre la reducción real del  $N_2$  (Loredo *et al.*, 2004)

La FBN es una opción importante para la recuperación de la fertilidad del suelo, en especial ahora cuando la aplicación de fertilizantes es un procedimiento caro que, además, puede incrementar la contaminación.

### **Consumo de Fertilizantes Nitrogenados a Nivel Nacional**

De acuerdo a información del comercio exterior y la producción nacional de fertilizantes, en el 2017 hubo una disponibilidad de 4.9 millones de toneladas de fertilizantes en México, de los cuales el 66.4% son nitrogenados, el 22.2% son

fosfatados. 8.1% potásicos y el 3.3% son mezclas de los tres principales nutrientes que definen a los tipos de fertilizantes mencionados (CEDRSSA, 2019).

En cuanto a su origen, el 79.0% es importado y el resto es de producción nacional, observándose que la mayor dependencia es de los nitrogenados, que son los de mayor uso en el país y que representan el mayor volumen y valor de la importación de fertilizantes (66.7 y 61.3%, respectivamente) y de estos fertilizantes, la urea es el fertilizante de mayor volumen y valor de las importaciones totales de fertilizantes (48.7 y 45.9%, respectivamente).

Los principales países de los que provienen las importaciones de urea, son Rusia, China, Irán y Egipto, que en conjunto representan el 80% de la importación de este producto; países que se encuentran entre los 12 principales productores de fertilizantes nitrogenados del mundo.

### **Consecuencias ambientales del uso de fertilizantes nitrogenados**

A nivel mundial, los fertilizantes sintéticos están vinculados con la mayor parte de la producción mundial de alimentos y son especialmente importantes en los países en desarrollo (UNEP, 2021).

Wang *et al.* (2018) mencionan que en la agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles, con el fin de lograr mayor rendimiento en los cultivos. Cabe destacar que las plantas pueden absorber entre un 30% y 50% de los fertilizantes químicos, el resto se pierde en el suelo.

La contaminación del agua por los fertilizantes se produce principalmente por lixiviación en aguas subterráneas y superficiales. La lixiviación de nitratos producto de algunas prácticas agrícolas facilita su infiltración en aguas subterráneas y superficiales, afectando negativamente la salud humana por el consumo excesivo de nitratos (Udvardi *et al.*, 2015). Los impactos negativos de los fertilizantes en el suelo son la variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y microfauna. Por último, el impacto negativo al aire se debe principalmente a las aplicaciones inadecuadas, lo cual genera contaminación en el ambiente.

En México el maíz es materia prima para consumo humano, industrial y forraje para animales. Este cereal demanda fertilizante nitrogenado (FN), cuya aplicación en exceso causa la pérdida de productividad del suelo y contaminación ambiental (Hirsch & Mauchline, 2015).

El nitrógeno es uno de los nutrientes primarios, siendo el principal limitante para la productividad agrícola, debido a que el N es un constituyente de enzimas, proteínas, ADN, y clorofila. Los principales impactos de la aplicación del nitrógeno son la eutrofización, acidificación y toxicidad (Udvardi *et al.*, 2015; Bibi *et al.*, 2016). La eutrofización de los hábitats pobres en nutrientes ocurre cuando existe una sobre disponibilidad de nutrientes en comparación a los niveles naturales. Debido a lo anterior, el tener una mayor disponibilidad de N produce un aumento de la productividad de las plantas y cambios en el ciclo del nitrógeno (Bibi *et al.*, 2016). La acidificación de los suelos y sistemas de agua dulce, se produce por la captación y asimilación del amonio por las raíces de las plantas, en el proceso de nitrificación y lixiviación del nitrato (Savci, 2012).

### **Importancia del Uso de Biofertilizantes**

Hernández *et al.* (2005) plantean que la biofertilización nitrogenada constituye una interesante alternativa al empleo de los fertilizantes minerales tradicionales en una agricultura moderna. Con el uso en suelos agrícolas de bacterias capaces de fijar un nutriente tan esencial como el nitrógeno se conseguirá, por una parte, disminuir los aportes de nitrógeno inorgánico y por otra, colaborar en la obtención de metodologías no contaminantes y adecuadas desde un punto de vista medio ambiental.

### **Análisis Multivariados**

El método de análisis multivariado se refiere a todos aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente más de dos variables de cada individuo. En sentido estricto, son la extensión de los análisis univariados (Cuadras, 2018).

### **Análisis de componentes principales**

El Análisis de Componentes Principales es un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables de respuesta correlacionada en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas. El análisis de componentes principales se puede hacer sobre una matriz de varianza-covarianza de las muestras o sobre una matriz de correlación. El análisis de componentes principales define las variables con mayor influencia para explicar la variación observada.

Citando a Franco e Hidalgo (2003) mencionan que el ACP es una herramienta útil para analizar los datos que se generan de la caracterización y evaluación preliminar del germoplasma, y permite conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas y la semejanza entre las accesiones. También permite seleccionar las variables cuantitativas más discriminatorias para limitar el número de mediciones en caracterizaciones posteriores.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material Genético

Durante el ciclo P-V 2019 se establecieron seis accesiones de razas de maíz (*Zea mays* L.) (Anexo 1) en el campo experimental del Banco de Germoplasma de la UAAAN, con el objetivo de estudiar el efecto de tres tratamientos de fertilización sobre el rendimiento de mazorca por planta. Las accesiones pertenecen al Banco de Germoplasma y se presentan en el Cuadro 1. Los tratamientos generados se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 1.** Genotipos correspondientes a seis accesiones establecidas en el campo experimental del Banco de Germoplasma.

| Genotipo | Accesiones         | Raza                      |
|----------|--------------------|---------------------------|
| G1       | UAAAN IsMex-013    | Tabloncillo               |
| G2       | UAAAN IsP-201      | Olotillo amarillo         |
| G3       | UAAAN 18-0206 #pap | Dulce de Jalisco          |
| G4       | UAAAN 18-0109#pap  | Zapalote chico            |
| G5       | UAAAN IsP-150      | Tuxpeño blanco            |
| G6       | UAAAN 18-0116#pap  | Bolita amarillo de Oaxaca |

**Cuadro 2.** Tratamientos generados con el diseño experimental de bloques al azar con arreglo bifactorial: A (tratamientos), B (genotipos) y cuatro repeticiones (R).

| Tratamientos   | Genotipos (Factor B) |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| (Factor A)     | G1 (B1)              | G2 (B2) | G3 (B3) | G4 (B4) | G5 (B5) | G6 (B6) |
| A1(Bacteria)   | A1B1R1               | A1B2R1  | A1B3R1  | A1B4R1  | A1B5R1  | A1B6R1  |
|                | A1B1R2               | A1B2R2  | A1B3R2  | A1B4R2  | A1B5R2  | A1B6R2  |
|                | A1B1R3               | A1B2R3  | A1B3R3  | A1B4R3  | A1B5R3  | A1B6R3  |
|                | A1B1R4               | A1B2R4  | A1B3R4  | A1B4R4  | A1B5R4  | A1B6R4  |
| A2(Con fert.)  | A2B1R1               | A2B2R1  | A2B3R1  | A2B4R1  | A2B5R1  | A2B6R1  |
|                | A2B1R2               | A2B2R2  | A2B3R2  | A2B4R2  | A2B5R2  | A2B6R2  |
|                | A2B1R3               | A2B2R3  | A2B3R3  | A2B4R3  | A2B5R3  | A2B6R3  |
|                | A2B1R4               | A2B2R4  | A2B3R4  | A2B4R4  | A2B5R4  | A2B6R4  |
| A3 (Sin fert.) | A3B1R1               | A3B2R1  | A3B3R1  | A3B4R1  | A3B5R1  | A3B6R1  |
|                | A3B1R2               | A3B2R2  | A3B3R2  | A3B4R2  | A3B5R2  | A3B6R2  |
|                | A3B1R3               | A3B2R3  | A3B3R3  | A3B4R3  | A3B5R3  | A3B6R3  |
|                | A3B1R4               | A3B2R4  | A3B3R4  | A3B4R4  | A3B5R4  | A3B6R4  |

La ubicación geográfica de la parcela de evaluación del experimento se muestra en el Cuadro 3. En el Cuadro 4 se describe las características del ensayo establecido durante el ciclo P-V 2019 para evaluar la respuesta de seis genotipos de maíz a los diferentes tratamientos de fertilización.

**Cuadro 3.** Ubicación geográfica de la parcela de evaluación.

| Municipio | Localidad | Latitud N    | Longitud O    | msnm |
|-----------|-----------|--------------|---------------|------|
| Saltillo  | UAAAN     | 25° 20' 51'' | 101° 01' 49'' | 1799 |

**Cuadro 4.** Características del ensayo efectuado en campo experimental del Banco de Germoplasma de UAAAN para evaluar la respuesta de seis genotipos de maíz a los diferentes tratamientos de fertilización.

|                                               |                                         |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Diseño                                        | Bloques al azar con arreglo bifactorial |
| Localidad                                     | UAAAN                                   |
| Fecha de siembra en charola                   | 18 Junio 2019                           |
| Fecha de trasplante                           | 10 Julio 2019                           |
| Fecha de inoculación de bacteria <sup>1</sup> | 16 Agosto 2019                          |
| Régimen hídrico                               | Riego por cintilla                      |
| No. de genotipos                              | 6                                       |
| No. de repeticiones                           | 4                                       |
| No. de surcos por parcela                     | 1                                       |
| No. de matas por surco                        | 3                                       |
| Longitud de surco (m)                         | 0.60                                    |
| Distancia entre surcos (m)                    | 0.80                                    |
| Distancia entre matas (m)                     | 0.30                                    |
| Fertilización total <sup>2</sup>              | 180-90-90                               |

<sup>1</sup>Tatamiento A1: Aplicación de la bacteria; <sup>2</sup>Tratamiento A2: Con fertilización inorgánica: Triple 17 y Urea y Tratamiento A3: Sin fertilización.

### **Aislamiento de las bacterias de rizosfera y mucílago de maíz**

En el ciclo P-V del 2018 de razas de maíz establecidas en el campo experimental del banco de germoplasma de la UAAAN, en plantas donde se había observado mucílago previamente (Cuadro 5), se tomaron muestras de suelo, raíces adventicias y mucílago presente en raíces aéreas. Para el desarrollo y aplicación de la bacteria se efectuó el siguiente procedimiento (González, 2020).

- Las muestras fueron tomadas con hisopos y sembradas inmediatamente en agar PDA-EML 3%, los hisopos fueron embalados en bolsas ziploc para evitar su contaminación, de igual manera las raíces y las muestras de suelo se empacaron en este tipo de bolsas y fueron llevadas al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila.
- Actividad solubilizante de fosforo: A las bacterias aisladas y purificadas se les realizó la determinación de la actividad solubilizante. Pocos días después de la incubación se presentó un halo alrededor de la bacteria lo que significa que esta bacteria tuvo actividad solubilizante de fosforo, siendo seleccionada para posteriores ensayos.
- Fijación biológica de nitrógeno: Para determinar la fijación de nitrógeno de las bacterias seleccionadas se preparó el medio ASHBY, una vez solidificado se sembró la bacteria ya seleccionada por estría simple y se incubó a 28°C por 72 horas. Pasadas las 72 horas se revisaron las cajas para verificar si hubo crecimiento de las bacterias y si se presenta un halo transparente alrededor de ellas, si este halo aparece indica que la bacteria es capaz de fijar nitrógeno.
- Aplicación de la bacteria seleccionada: De los resultados obtenidos en las pruebas *in vitro* se seleccionó la bacteria y se realizó una fermentación líquida obteniendo un caldo nutritivo para su aplicación. Una vez que creció la bacteria, este caldo se traspasó a tubos falcón en donde se pusieron 24 semillas de maíz de las razas de maíz evaluadas en este experimento. Estas semillas se sembraron en charolas para germinar. Se realizó el trasplante en el campo experimental del banco de germoplasma de la UAAAN, cuando las plántulas alcanzaron una altura de 20 cm. Se volvió a inocular el caldo con las bacterias para fomentar la actividad biofertilizante y se realizó una segunda aplicación a los 59 días del desarrollo cultivo.

- Actividad antagonica contra hongos fitopatogenos: La bacteria seleccionada presento antagonismo contra *Alternaria solani*, *Colletotrichum* sp. y *Fusarium oxysporum*

**Cuadro 5.** Genotipos de maiz sembrados en el Banco de Germoplasma de la UAAAN durante el ciclo P-V 2018 de los cuales se aislaron las bacterias fijadoras de nitrógeno.

| Muestras | Parcela | Raza                 | Origen (estado) | Presencia de mucilago |
|----------|---------|----------------------|-----------------|-----------------------|
| 1        | 0223    | Olotillo guinda      | Puebla          | Si                    |
| 2        | 0224    | Tabloncillo blanco   | México          | Si                    |
| 3        | 0304    | Jala                 | Nayarit         | Si                    |
| 4        | 0402    | Cónico amarillo-rojo | Puebla          | Si                    |
| 5        | 0220    | Olotillo amarillo    | Puebla          | Si                    |
| 6        | 0213    | Cónico guinda        | Perú            | No                    |
| 7        | 0206    | Dulce                | Jalisco         | Si                    |
| 8        | 0108    | Reventador           | Sinaloa         | Si                    |
| 9        | 0109    | Zapalote chico       | Oaxaca          | Si                    |
| 10       | 0121    | Tunicado             | Tlaxcala        | No                    |
| 11       | 0303    | Tabloncillo blanco   | Jalisco         | Si                    |
| 12       | 0417    | Tuxpeño              | Puebla          | Si                    |
| 13       | 0116    | Bolita amarillo      | Oaxaca          | No                    |
| 14       | 0211    | Olotón               | Chiapas         | Si                    |
| 15       | 0416    | Ratón                | Zacatecas       | No                    |
| 16       | 0221    | Vandéño amarillo     | Puebla          | Si                    |

### Variables Evaluadas

Características agronómicas evaluadas en seis accesiones de maíz:

1. Días a floración masculina (DFM): Se contó el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50% de las espigas liberaron polen.
2. Altura de planta (AP): Se midieron las plantas desde la base hasta la inserción de la hoja bandera, se promedió y se expresó en cm.
3. Altura de mazorca (AM): Se midieron las plantas desde la base hasta el nudo de la inserción de la mazorca, se promedió y se expresó en cm.

4. Diámetro de tallo (DT): Se midió el diámetro de tallo con un vernier se obtuvo el promedio y se expresó en milímetros (mm).
5. Nudos con raíces aéreas (NRA): Se contó el número de nudos desde la base de la planta con raíces aéreas presentes.
6. Mazorcas por planta (MP): Se contó el número de mazorcas por planta y se obtuvo el promedio
7. Peso de mazorca al 10% de humedad (PM10H): Se obtuvo con la siguiente fórmula, se expresó en gramos (g)

$$Y = (x (100 - P1) / (100 - P2)) * 1000$$

Dónde:

Y= peso de mazorca al 10% de humedad

x = peso de campo de mazorca por planta (kg)

P1= humedad obtenida

P2= humedad estándar (10%)

## **Análisis Estadísticos**

### **Análisis factorial**

El diseño bloques completos al azar con arreglo bifactorial se utilizó en la presente investigación para probar dos factores simultáneamente en todas las combinaciones posibles, en este experimento se incluyeron cuatro repeticiones por tratamiento. Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

Modelo lineal aditivo

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + L_k + \epsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$ : valor estimado de la variable.

$\mu$ : efecto de la media general.

$\alpha_i$ : efecto del i-ésimo nivel del factor A (tratamientos).

$\beta_j$ : efecto del j-ésimo nivel del factor B (genotipos).

$(\alpha\beta)_{ij}$ : efecto de la interacción AxB.

$L_k$ : efecto del k-ésimo bloque.

$\epsilon_{ijk}$ : efecto del error.

Se determinó el coeficiente de variación en cada una de las variables consideradas mediante la siguiente fórmula:

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

La diferencia entre los tratamientos se obtuvo por la comparación de medias utilizando la prueba de Tukey al nivel de 0.05 de probabilidad.

Método Tukey

Calcular DMSH =  $q(\alpha, T, \text{gl-error}) \cdot S_{\bar{x}}$

Dónde:

$q(\alpha, T, \text{gl-error})$  = Valor tabular de Tukey que se encuentra en las tablas, con número de tratamientos  $T$ , grados de libertad del error y el nivel de significancia  $\alpha$ .

Error estándar para el factor A  
 $S_{\bar{x}}$  = error estándar de la media =  $\sqrt{\text{CME}/r \cdot B} = \sqrt{\text{CME}/24}$

Error estándar para el factor B  
 $S_{\bar{x}}$  = error estándar de la media =  $\sqrt{\text{CME}/r \cdot A} = \sqrt{\text{CME}/12}$

### **Análisis de componentes principales**

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

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

Donde  $x = [x_1, x_2 \dots x_p]$  es el vector de valores muestrales de las variables originales, y  $a_{ij}$  es el valor del  $j$ -ésimo elemento del vector característico  $a_1$  asociado al valor característico más grande  $\lambda_1$ .

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

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

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características Cualitativas de las Acciones de Maíz

En el Cuadro 6 se presentan características cualitativas como tipo, textura y color de grano que influyen en el uso que se da a las razas de maíz. En la elaboración de la tortilla tlayuda y el tejate, sobre sale la raza Bolita; el Zapalote chico se utiliza en la elaboración de los totopos del istmo. En muchos casos se ha encontrado una correlación estricta entre la raza de maíz y el tipo de preparación culinaria (Fernandez *et al.*, 2013).

**Cuadro 6.** Características cualitativas de los seis genotipos de maíz.

| Genotipos | Acciones UAAAN | Forma de la mazorca | Tipo de grano          | Forma de la superficie | Color de Grano |
|-----------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|----------------|
| G1        | IsMex-013      | Cónica-cilíndrica   | Dentado                | Dentada                | Cre moso       |
| G2        | IsP-201        | Cónica-cilíndrica   | Dentado-Semicristalino | Contraída              | Amarillo       |
| G3        | 18-0206 #pap   | Cónica-cilíndrica   | Dulce                  | Contraída              | Amarillo       |
| G4        | 18-0109#pap    | Cónica-cilíndrica   | Dentado                | Contraída              | Blanco         |
| G5        | IsP-150        | Cilíndrica          | Dentado                | Contraída              | Blanco         |
| G6        | 18-0116#pap    | Cilíndrica          | Cristalino             | Dentada                | Amarillo       |

### Análisis de Varianza Bifactorial

Un experimento factorial es útil en experimentos complejos donde se sabe que un factor no actúa independientemente sino en estrecha relación con otros factores y permite obtener mayor información que un experimento simple ya que estudia efectos parciales y combinados entre los factores (Condo & Pazmiño, 2015). En el Cuadro 7, se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) y altamente significativas ( $p < 0.01$ ) para la mayoría de las variables del factor A (tratamientos). Con respecto al factor B (genotipos) se presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre el germoplasma evaluado para todas las variables analizadas. Además, se presentaron bajos coeficientes de variación con un rango de valores de 4.9 a 26.0%. El coeficiente de variación de PM10%H (C.V.= 12.2%) proviene de datos transformados.

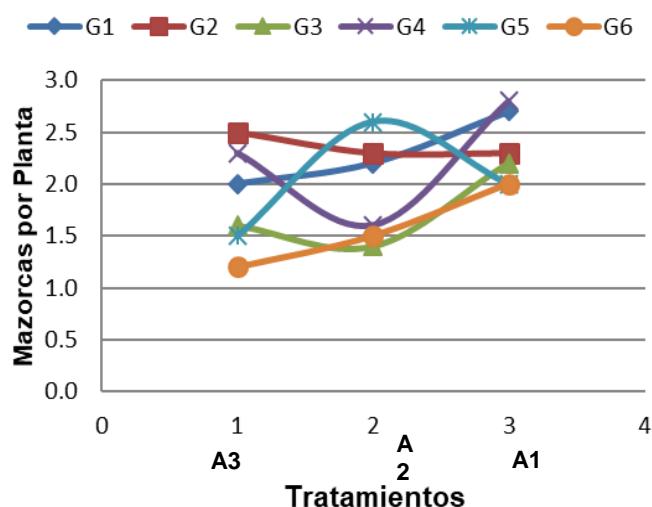


**Cuadro 7.** Cuadrados medios y coeficientes de variación (C.V. %) del análisis bifactorial de las características evaluadas en seis genotipos de maíz.

| Fuente    | GL | Cuadrados Medios |           |           |          |         |          |          |
|-----------|----|------------------|-----------|-----------|----------|---------|----------|----------|
|           |    | DFM <sup>1</sup> | AP        | AM        | DT       | MxP     | NRA      | PM10%H   |
| Factor A  | 2  | 61.41            | 2296.1*   | 1631.9**  | 43.80**  | 1.382*  | 0.7488*  | 0.4406   |
| Factor B  | 5  | 1642.25**        | 25895.0** | 14291.2** | 103.94** | 1.241** | 5.9528** | 1.5869** |
| Int. A*B  | 10 | 17.14            | 565.1     | 338.6     | 5.36     | 0.599*  | 0.4130*  | 0.2951   |
| Rep.      | 3  | 44.86            | 317.0     | 90.3      | 4.60     | 0.616   | 0.3207   | 0.0545   |
| Error     | 51 | 20.62            | 472.9     | 308.4     | 3.83     | 0.258   | 0.1550   | 0.2261   |
| Total     | 71 |                  |           |           |          |         |          |          |
| C.V. (%)  |    | 4.9              | 11.8      | 17.6      | 11.0     | 24.9    | 26.0     | 12.2     |
| $\bar{x}$ |    | 93.4             | 184.6     | 99.5      | 17.8     | 2.0     | 1.5      | 3.9      |

<sup>1</sup>DFM=días a floración masculina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, DT=diámetro de tallo, NRA=nudos con raíces aéreas, MxP=mazorcas por planta, PM10%H=peso de mazorca al 10% de humedad, datos transformados por ln (x). \*Significancia y \*\*Alta significancia al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad.

Con respecto a la interacción A (Tratamientos) x B (Genotipos) para la variable mazorcas por planta (MxP), se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ). Donde en los genotipos: G1, G3, G4 y G6 se observaron incrementos con la inoculación de la bacteria (tratamiento A1) superando a los tratamientos A3 y A2 (Figura 1). Los genotipos G2 y G5 presentaron mayor incremento con la aplicación de los tratamientos A3 y A2, respectivamente.

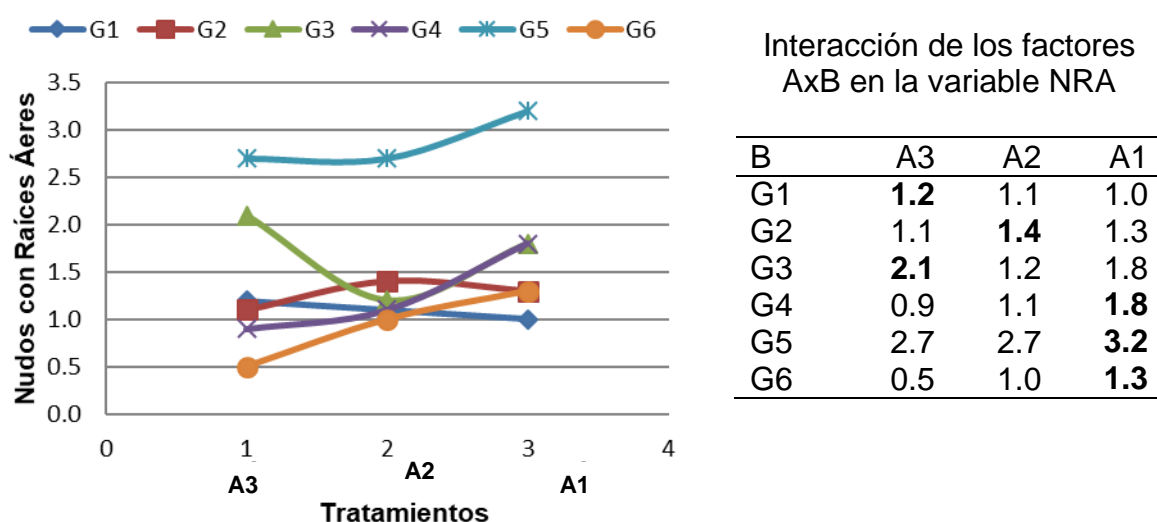


Promedios de la interacción AxB para la variable mazorcas por planta (MxP).

|    | A3         | A2         | A1         |
|----|------------|------------|------------|
| G1 | 2.0        | 2.2        | <b>2.7</b> |
| G2 | <b>2.5</b> | 2.3        | 2.3        |
| G3 | 1.6        | 1.4        | <b>2.2</b> |
| G4 | 2.3        | 1.6        | <b>2.8</b> |
| G5 | 1.5        | <b>2.6</b> | 2.0        |
| G6 | 1.2        | 1.5        | <b>2.0</b> |

**Figura 1.** Promedios de la interacción entre tratamientos (A) por genotipos (B) para la variable MxP en seis razas de maíz: G1 (Tabloncillo), G2 (Olotillo amarillo), G3 (Dulce de Jalisco), G4 (Zapalote chico), G5 (Tuxpeño) y G6 (Bolita).

Sobre la interacción AxB en la variable nudos con raíces aéreas (NRA) se observa que el genotipo G5 obtuvo los más altos promedios en los tres niveles del factor A obteniendo la mejor respuesta con el tratamiento A1, en los genotipos G4 y G6 también se observó una respuesta sobresaliente con el tratamiento A1, por último en los genotipos G1, G2 y G3 presentaron un mayor promedio con los tratamientos A3 y A2, sin embargo estos promedios no son superiores al obtenido con el tratamiento A1 (Figura 2).



**Figura 2.** Interacción de AxB en la variable nudos con raíces aéreas en las seis razas de maíz criollo: G1 (Tabloncillo), G2 (Olotillo amarillo), G3 (Dulce de Jalisco), G4 (Zapalote chico), G5 (Tuxpeño) y G6 (Bolita).

Durante el desarrollo del experimento en campo se observó la presencia de mucílago localizado en los nudos de las raíces aéreas. De acuerdo con un estudio realizado por van Deynze *et al.*, (2018) describen que los altos niveles de fijación de nitrógeno son respaldados, al menos en parte, por la abundante producción de un mucílago rico en azúcar asociado con las raíces aéreas que proporciona un hogar a un complejo microbioma fijador de nitrógeno (Figura 3). Los mismos autores afirman que una variedad local de maíz cultivada en campos sin nitrógeno cerca de Oaxaca, México, entre el 29 % y el 82 % del nitrógeno de la planta se deriva del nitrógeno atmosférico.



| Residue           | Weight ( $\mu\text{g}$ ) | mole% <sup>1</sup> |
|-------------------|--------------------------|--------------------|
| Arabinose         | 113.7                    | 13.7               |
| Fucose            | 377.0                    | 41.8               |
| Xylose            | 27.1                     | 3.3                |
| Glucuronic acid   | 28.6                     | 2.7                |
| Galacturonic acid | 0.0                      | 0.0                |
| Mannose           | 27.1                     | 2.7                |
| Galactose         | 354.3                    | 35.8               |
| Sum               | 927.8                    | 100                |

<sup>1</sup>Values are expressed as mole % of total carbohydrate

Fuente: **van Deynze et al.** (2018).

**Figura 3.** Mucílago de raíz aérea. Las raíces aéreas del maíz Sierra Mixe (izquierda) secretan grandes cantidades de mucílago entre 3 y 6 meses después de la siembra. El mucílago es rico en carbohidratos, con una composición dominada por arabinosa.

Uno de los fenómenos que se observó en el experimento durante la presencia del mucílago, ocurrió cuando las raíces aéreas del primer nudo se desecaron, el mucílago sube al nivel superior de las raíces (Figura 4), así mismo su mayor expresión la tenía durante la mañana. Con criterio propio se puede afirmar que la microbiota que fija el nitrógeno aéreo en la planta está asociada con las raíces aéreas por medio del mucílago.



Fuente: Elaboración propia incisos B, C y D. Inciso A (González, 2020).

**Figura 4.** Expresión del mucilago en el experimento: A) Inoculación del caldo nutritivo con la bacteria a las plantas a los 59 días post trasplante en campo, B) Mucílago de raíz aérea, C) Incremento de la producción del mucílago en el segundo nudo de raíz aérea y D) Planta prolífica de Zapalote chico en la cosecha.

### Prueba de medias

De acuerdo a las características evaluadas en el Cuadro 8 se presenta la prueba de medias de Tukey (0.05) observándose diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el factor A donde el tratamiento A1 demuestra el efecto de las bacterias fijadoras de nitrógeno

que estimularon el desarrollo de las variables: DT, MxP y NRA, además este tratamiento tuvo el más alto promedio para a la variable PM10%H, aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas con el tratamiento A2, donde se aplicaron dosis de fertilización nitrogenada.

Con respecto a la prueba de medias de Tukey (0.05) para el Factor B, en el Cuadro 8 se muestra la amplia variabilidad del germoplasma evaluado donde el G4 (Zapalote chico) fue el más precoz con 77.5 DFM, en comparación con el G5 (Tuxpeño) el cual presentó un promedio de 107.3 días a floración masculina. Los genotipos G4 y G6 registraron los promedios más bajos para las variables AP y AM esto debido a su corto ciclo de desarrollo.

**Cuadro 8.** Promedios de tratamientos y genotipos: G1 (Tabloncillo), G2 (Olotillo amarillo), G3 (Dulce de Jalisco), G4 (Zapalote chico), G5 (Tuxpeño) y G6 (Bolita). de las variables evaluadas y prueba de Tukey.

| Tratamiento | DFM<br>días | AP<br>cm | AM<br>cm | DT<br>mm | MxP<br>No. | NRA<br>No. | PM10%H<br>g |
|-------------|-------------|----------|----------|----------|------------|------------|-------------|
| A1          | 92.8 a      | 187.0 ab | 101.7 ab | 19.2 a   | 2.36 a     | 1.7 a      | 61.0 a      |
| A2          | 92.3 a      | 193.0 a  | 106.5 a  | 17.6 b   | 2.00 b     | 1.4 b      | 60.8 a      |
| A3          | 95.3 a      | 173.9 b  | 90.4 b   | 16.5 b   | 1.90 b     | 1.4 b      | 49.6 a      |
| Tukey0.05   | 3.17        | 15.172   | 12.252   | 1.364    | 0.354      | 0.274      | 17.94       |
| Genotipos   |             |          |          |          |            |            |             |
| G1          | 92.6 c      | 175.2 b  | 84.7 c   | 18.3 b   | 2.3 ab     | 1.1 c      | 43.4 b      |
| G2          | 98.8 b      | 198.6 b  | 116.4 b  | 16.5 bcd | 2.4 a      | 1.2 bc     | 61.8 b      |
| G3          | 102.3 ab    | 182.1 b  | 92.5 c   | 17.9 bc  | 1.7 bc     | 1.7 b      | 38.8 b      |
| G4          | 77.5 d      | 147.1 c  | 81.8 cd  | 15.9 cd  | 2.2 ab     | 1.3 bc     | 54.8 b      |
| G5          | 107.3 a     | 267.3 a  | 160.0 a  | 23.1 a   | 2.1 abc    | 2.9 a      | 48.0 b      |
| G6          | 82.1 d      | 137.2 c  | 61.6 c   | 14.8 d   | 1.6 c      | 0.9 c      | 96.0 a      |
| Tukey0.05   | 5.492       | 26.303   | 21.241   | 2.363    | 0.614      | 0.476      | 31.097      |

DFM=días a floración masculina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, DT=diámetro de tallo, NRA=nudos con raíces aéreas, MxP=mazorcas por planta, PM10%H=peso de mazorca al 10% de humedad, datos originales. Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

El G6 (Bolita) presentó bajos promedios para las variables: DT, MxP y NRA, sin embargo, estadísticamente ( $p < 0.05$ ) fue el de mayor rendimiento (PM10%H= 96.0 g), esto se atribuye a su mejor adaptación al ambiente de esta localidad que el resto de los genotipos. CONABIO (2010) señala que genotipos precoces de la raza Bolita se

usan en el mejoramiento de generaciones avanzadas en áreas templadas semiáridas (llanos del norte de Guanajuato, Zacatecas, Durango y Chihuahua, Coahuila).

### **Análisis de Componentes Principales**

Con el propósito de establecer las variables de mayor contribución a la diferenciación de los genotipos, a los datos se les realizó un análisis de componentes principales (ACP). Los resultados del ACP permiten observar que los tres primeros componentes explican el 94.5% de la variación acumulada (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de variables evaluadas en seis genotipos de maíz.

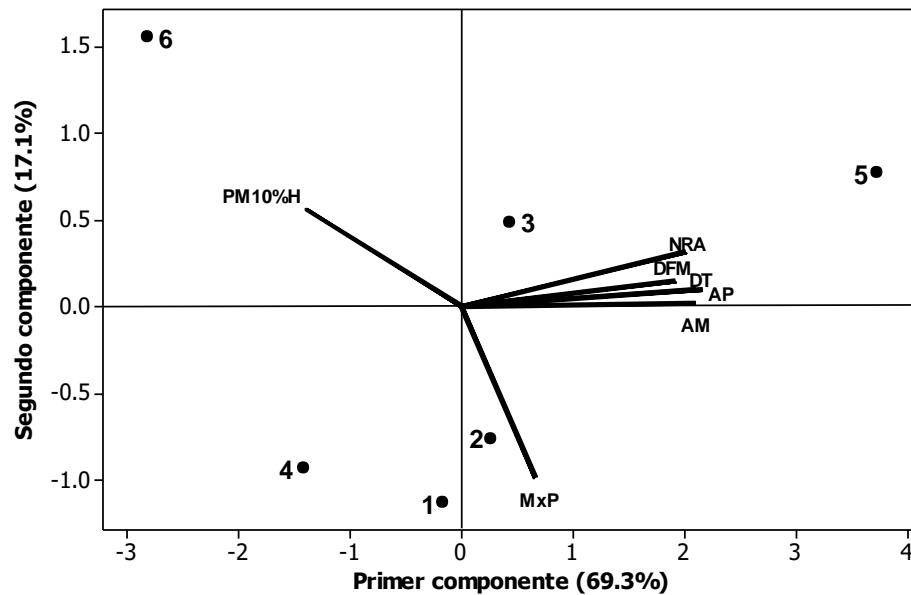
|                | CP1              | CP2           | CP3           |
|----------------|------------------|---------------|---------------|
| Valor propio   | 4.8538           | 1.1962        | 0.5622        |
| Proporción (%) | 69.3             | 17.1          | 8.0           |
| Acumulada (%)  | 69.3             | <b>86.4</b>   | 94.5          |
| Variables      | Vectores propios |               |               |
| DFM            | 0.395            | 0.129         | 0.240         |
| AP             | <b>0.444</b>     | 0.085         | -0.226        |
| AM             | <b>0.432</b>     | 0.022         | -0.375        |
| DT             | <b>0.432</b>     | 0.089         | 0.047         |
| MxP            | 0.137            | <b>-0.820</b> | <b>-0.430</b> |
| NRA            | <b>0.414</b>     | 0.271         | -0.026        |
| PM10%H         | -0.289           | <b>0.471</b>  | <b>-0.750</b> |

Cargas del vector propio con variables de mayor peso (En negritas); DFM=días a floración masculina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, DT=diámetro de tallo, NRA=nudos con raíces aéreas, MxP=mazorcas por planta, PM10%H=peso de mazorca al 10% de humedad.

Con respecto a los vectores propios las variables con mayor valor absoluto se presentan en negritas (Cuadro 9). En el primer componente principal las variables de mayor importancia fueron: AP, AM, DT y NRA; en el segundo componente sobresalen las variables MxP y PM10%H.

En la gráfica biplot (Figura 5) se puede observar que con los dos primeros componentes explican el 86.4% de la variación total de los datos. De acuerdo con Arroyo *et al.* (2005) este resultado es suficiente para representar confiablemente la

relación entre las variables y los genotipos. En esta gráfica también se observa la relación entre variables, donde los ángulos agudos indican correlaciones positivas, ángulos obtusos corresponden a correlaciones negativas y ángulos rectos indican que no hay correlación entre las variables (Balzarini *et al.*, 2006). Los valores de correlación entre las variables estudiadas se observan en el Cuadro 10.



DFM=días a floración masculina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, DT=diámetro de tallo, NRA=nudos con raíces aéreas, MxP=mazorcas por planta, PM10%H=peso de mazorca al 10% de humedad.

**Figura 5.** Gráfica biplot que muestra las variables-vector y la distribución de seis genotipos de maíz en base a los dos primeros componentes principales.

Borroel *et al.* (2018) afirman que existe una relación fisiológica entre los componentes de rendimiento de grano con las variables de la mazorca. Se puede observar que esta relación se presenta entre las variables agronómicas evaluadas en la presente investigación donde se muestra una correlación positiva y significativa entre DFM y AP ( $r = 0.864^*$ ).

Así mismo se presentaron correlaciones positivas y altamente significativas entre AP con: AM ( $r = 0.980^{**}$ ), DT ( $r = 0.928^{**}$ ) y NRA ( $r = 0.901^{**}$ ); entre estas dos últimas variables existe una alta correlación positiva de  $r = 0.920^{**}$ . La variable PM10%H se

correlacionó negativamente y no significativamente con el resto de las variables (Cuadro 10), las cuales no representan a los componentes de rendimiento del peso de la mazorca como lo serian la longitud y diámetro de la mazorca, numero de hilera y granos por hilera.

**Cuadro 10.** Correlaciones fenotípicas entre las variables consideradas en el ACP

|        | DFM <sup>1</sup> | AP             | AM            | DT             | MxP    | NRA    |
|--------|------------------|----------------|---------------|----------------|--------|--------|
| AP     | <b>0.864*</b>    |                |               |                |        |        |
| AM     | 0.790            | <b>0.980**</b> |               |                |        |        |
| DT     | 0.768            | <b>0.928**</b> | <b>0.869*</b> |                |        |        |
| MxP    | 0.088            | 0.268          | 0.354         | 0.188          |        |        |
| NRA    | 0.715            | <b>0.901**</b> | <b>0.887*</b> | <b>0.920**</b> | 0.007  |        |
| PM10%H | -0.542           | -0.473         | -0.441        | -0.581         | -0.470 | -0.448 |

\*Significativo y \*\*Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01; DFM=días a floración masculina, AP=altura de planta, AM=altura de mazorca, DT=diámetro de tallo, NRA=nudos con raíces aéreas, MxP=mazorcas por planta, PM10%H=peso de mazorca al 10% de humedad.



## CONCLUSIONES

De la información obtenida en relación con la aplicación de los tratamientos de fertilización (factor A), en las seis razas criollas de maíz evaluadas (factor B) se llega a extraer las siguientes conclusiones:

- El análisis de varianza bifactorial fue útil para detectar diferencias significativas entre tratamientos (factor A) y entre genotipos (factor B) y en la interacción AxB.
- Con la aplicación del tratamiento A1 (bacteria) estadísticamente se obtuvieron promedios superiores en las variables: DT, NRA y MxP.
- El factor B mostró la amplia variabilidad del germoplasma evaluado, siendo el genotipo G6 (Bolita) el que mejor se adaptó al ambiente y estadísticamente presentó el mayor PM10%H.
- En la interacción AxB, los genotipos G1 (Tabloncillo) y G4 (Zapalote chico) superaron al resto de los genotipos en la variable MxP con la aplicación del tratamiento A1 (Bacteria).
- Para la variable NRA en la interacción AxB, el G5 (Tuxpeño) superó al resto de los genotipos con la aplicación del tratamiento A1 (Bacteria).
- Con el análisis de componentes principales se explicó el 86.4% de la variación total de los datos, donde el genotipo Bolita se caracterizó tener el más alto PM10%H, los genotipos: Tabloncillo, Olotillo Y Zapalote chico obtuvieron los más altos promedio para la variable MxP, y los genotipos Dulce de Jalisco y Tuxpeño tuvieron la mejor respuesta para las variables: DFM, AP, AM, DT y NRA.

## LITERATURA CITADA

- Amezquita**, A., C. F., Coronel, A., C. B., Santos, V., S., Santoyo, G., & Parra, C., F. I. 2021. Characterization of native plant growth-promoting bacteria (PGPB) and their effect on the development of maize (*Zea mays L.*). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, Volumen XXIV* (Número 1).
- Aragón**, C., F. 2006. *Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México D. F. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfCS002.pdf>
- Arroyo**, A., Balzarini M., Bruno C. y Di Rienzo J. 2005. Árboles de expansión mínimos: ayudas para una mejor interpretación de ordenaciones en bancos de germoplasma. *Interciencia*. 30: 550-554.
- Arshad**, M., & Frankenberger Jr, W. T. 1998. Sustancias reguladoras del crecimiento vegetal en la rizosfera: Producción y funciones microbianas. *Adv. Agron. Vol.62*: 45–151.
- ASERCA**. 2018. Maíz grano cultivo representativo de México. Recuperado 13 de octubre de 2021, de <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es>
- Augustus**, M., V., Divan, B., V. L., Santos, T., K. R., & Ivo, B., J. 1999. Fixação Biológica de Nitrogênio: Bactérias Fixadoras de Nitrogênio de Importância para a Agricultura Tropical. *Seropédica: EMBRAPA-CNPAB*.
- Baldani**, V. L. D., Alvarez, M. A., Baldani, J. I., & Döbereiner, J. 1986. Establecimiento de *Azospirillum* spp inoculados. en la rizósfera y en las raíces de trigo y sorgo cultivados en el campo. *Plant and Soil*, 90(1–3), 35–46.

- Balzarini, M.,** Arroyo A., Bruno C. y di Rienzo J. 2006. Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Beauchamp, C.J.,** Dion, P., Kloepper, J.W. &Antoun, H. 1991. Physiological characterization of opine-utilizing rhizobacteria for traits related to plant growth promoting activity. *Plant Soil* 132: 273-279
- Bibi, S.,** Saifullah, F., Naeem, A., & Dahlawi, S. 2016. Environmental Impacts of Nitrogen Use in Agriculture, Nitrate Leaching and Mitigation Strategies. *Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives*, 131–157. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-34451-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-34451-5_6)
- Boddey, R.M.,** de Oliveira, O.C., Urquiaga, S., Reis, V.M., de Olivares, F.L., Baldani, V.L.D. & Döbereiner, J.1995. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: Contributions and prospects for improvement. *Plant Soil*. Vol 174: 195-209.
- Böll, S.,** H. 2019. México: Un País de Maíz. Recuperado 14 de octubre de 2019, de <https://mx.boell.org/es/2019/04/17/mexico-un-pais-de-maiz>
- Boonjawat, J. P.,** Chaisiri, J., Limpananont, S., Soontaros, P., Pongsawasd, S., Chaopongpang, S., . . . Sangduan, L. 1991. Biology of nitrogen-fixing rhizobacteria. *Plant Soil* 137: (Bangkok 10330. Thailand), 119–125.
- Borroel, G.,** V. J., Salas, P., L., Ramírez, A., M. G., López, M., J. D. & Luna, A., L. 2018. Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana* 36: 423-429
- Bowen, G.D. &** Rovira, A.D. 1999. The Rhizosphere and its management to improve plant growth. *Adv. Agron.* 66: 1-102.
- Cabrerizo, C.** 2012. “El maíz en la alimentación Humana”. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://www.infoagro.com>
- Cano, M. A.** 2011. Interacción De Microorganismos Benéficos En Plantas: Micorrizas, *Trichodermas* pp. y *Pseudomonas* pp. UNA REVISIÓN. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. Vol 14(2):*, 15–31.

- CDB.** 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Recuperado 20 de noviembre de 2021, de <https://www.cbd.int/convention/text/>
- CEDRSSA.** 2019. *Fertilizantes (2)*. Recuperado de [http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_n-fertilizantes-n.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-fertilizantes-n.htm)
- CONABIO.** 2020. Qué nos aportan los maíces. Recuperado 13 de octubre de 2021, de [https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N\\_maices](https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_maices)
- CONABIO, INIFAP, & INECC.** 2011. Proyecto Global de Maíces Nativos. Anexo 7 Resultados de proyecto. Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/GuiaPracticaMaiz.pdf>
- CONABIO, INIFAP, & INECC.** 2011. *Proyecto Global de Maíces Nativos. Anexo 8 Resultados de proyecto*. Recuperado de [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/EL\\_ORIGEN\\_Y\\_DIVERSIFICACION\\_DE\\_MAIZ\\_ene09.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/EL_ORIGEN_Y_DIVERSIFICACION_DE_MAIZ_ene09.pdf)
- Condo, L. A., & Pazmiño, J. M.** 2015. *Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 3). Riobamba, Ecuador: ESPOCH.
- Crowley, D. E., Wang, Y. C., Reid, C. P. P., & Szaniszlo, P. J.** 1991. Mechanisms of iron acquisition from siderophores by microorganisms and plants. *Iron Nutrition and Interactions in Plants*, 213–232.
- Cuadras, M.C.** 2018. Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC editions. Barcelona. Pp 13.
- Douds, D. D., & Millner, P. D.** 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 77–93.
- Dutta, S., & Podile, A. R.** 2010. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): the bugs to debug the rootzone. *Critical Reviews in Microbiology*, Vol 36(3), 232–244. <https://doi.org/10.3109/10408411003766806>
- Fernandez, S. R., Morales, C. L. A., & Gálvez, M. A.** 2013. Importancia de los Maíces Nativos de México en la Dieta Nacional. Una Revisión Indispensable. *Rev. Fitotec. Mex.*, Vol. 36 (Supl. 3-A: 275), 275–283.

- Franco**, T.L., y R. Hidalgo. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico no. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Gómez**, M., N. O., Coutiño, E., B., B., & Trujillo, C., A. 2015. *Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008–2009*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Noroeste. Recuperado de [http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfFZ016\\_Gro\\_Chis\\_Mor.pdf](http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfFZ016_Gro_Chis_Mor.pdf) Informe final Estados: Guerrero, Chiapas y Morelos, proyecto No. FZ016, México D.F.
- González**, C., N., Silos, E., H., Estrada, C., J. C., Chávez, M., J. A., & Tejero, J., L. 2016. Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 7(3), 669–680. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.326>
- González**, G., D. A. 2020. Tesis “Efecto biofertilizante de bacterias aisladas de rizosfera sobre maíz (*Zea mays* L.) de diferentes zonas geográficas de México”.
- Herman**, R. P., Provencio, K., Torrez, R., & Seager, G. M. 1994. Seasonal and spatial population dynamics of the nitrogen-efficient guild in a desert bajada grassland. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 60(4), 1160–1165. <https://doi.org/10.1128/aem.60.4.1160-1165.1994>
- Hernández**, F., Velásquez, K., Carreño, C., Lloclla, H., Estela, C., & Altamirano, C. 2015. Efecto de enterobacterias en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* en invernadero. *Revista de Investigación y Cultura*, Vol. 4(1), 10–19.
- Hernández**, T., García, C., Pascual, J. A., & Hernández, M. M. (2005). El uso de bacterias fijadoras de nitrógeno en Agricultura Ecológica. *Agricultura Ecológica*, 184–187.
- Hirsch**, P., & Mauchline, T. 2015. La importancia del ciclo microbiano del N en el suelo para la nutrición vegetal de cultivos. *ELSERVIER*, 93, 45–71.

- Irisarr, P., Gonnet, S., & Monza, J.** 2008. Fijación de Nitrógeno por Cianobacterias y Fertilización en Arroz. *INIA Serie técnica, FPTA N° 21*(ISBN: 978–9974-38-254-1), 11–24.
- Johnson, E.D.** 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores. New York, U.S.A.
- Kaur, G., & Reddy, M. S.** 2013. Phosphate solubilizing rhizobacteria from an organic farm and their influence on the growth and yield of maize (*Zea mays* L). *Journal of General and Applied Microbiology*, Vol 59, 295–303.
- Lara, M., C., Villalba, A., M., & Oviedo, Z., L. E.** 2007. Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de la zona agrícola de San Carlos. Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, IX (2), 6–14.
- Loper, J. E., Haack, C., & Schroth, M. N.** 1985. Population Dynamics of Soil Pseudomonads in the Rhizosphere of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Applied and Environmental Microbiology*. Vol 49(2), 416–422. <https://doi.org/10.1128/aem.49.2.416-422.1985>
- Loredo, O., C., López, R., L., & Espinosa, V., D.** 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana*, 22(2), 225–239.
- Mandinba, G., T. Heulin, R. Bally, A. Guckert & J. Balandreau.** 1986. Chemotaxis of free-living nitrogen-fixing bacteria towards maize mucilage. *Plant Soil* Vol. 90: 129-139.
- McClintock, B., Kato, A., & Blumenschein A.** 1981. *Constitución cromosómica de las razas de maíz. Su significado en la interpretación entre las razas y variedades en las Américas.* (Primera Edición ed.). Texcoco: Estado de México, México: Colegio de Postgraduados; 521 p.
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. A.** 2018. Órganos Vegetales: Raíz. En *Atlas de Histología Vegetal y Animal* (1.ª ed., pp. 1–14). Vigo, España: Universidad de Vigo.

- Minitab**, Inc. 2009. Minitab Statistical Software, Versión 16 para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.
- Mota**, C., C., González, A., R. A., Burgef, C., Enríquez, G., C., Oliveros, G., O., & Acevedo, G., F. CONABIO, 2010. Razas de maíz de México. Recuperado 3 de noviembre de 2021, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- Navarro**, G., H., Hernández, F., M., Castillo, G., F., & Pérez, O., M. A. 2012. Diversidad y caracterización de maíces criollos. Estudio de caso en sistemas de cultivo en la costa chica de Guerrero, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(2), 149–165.
- Oñate**, Z., L. A. 2016. *Tesis “Duración De Las Etapas Fenológicas Y Profundidad Radicular Del Cultivo De Maíz (Zea mays) Var. Blanco Harinoso Criollo, Bajo Las Condiciones Climáticas Del Cantón Cevallos”* (Universidad Técnica De Ambato). Cevallos-Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20371.pdf> 14-15.
- Paul**, E.A. & Clark, F., E. 1996. *Soil microbiology and biochemistry*. 2th ed. Academic Press. San Diego, CA.
- Plata**, G., D., Ignacio, C., J. L., Carrillos, A., J. C., & Sánchez, Y., J. M. 2020. Response of *Zea mays* var. Jala to *Burkholderia* sp. And *Klebsiella oxytoga* under reduced urea dose. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(2), 173-182
- Perales**, R., H., Sánchez, G., J. J., Ortega, P., R., Rincón, S., F., Castillo, G., F., Manuel Arias, L., Gómez, M., N. 2010. *Proyecto Global de Maíces Nativos “Tabla descriptiva de razas de maíz en México (Anexo 6)*. Recuperado de [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/Tabla\\_razas\\_marzo\\_2010.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/Tabla_razas_marzo_2010.pdf)
- Rengel**, Z. 1997. Exudación radicular y poblaciones de microflora en la rizosfera de genotipos de cultivos que difieren en la tolerancia a la deficiencia de micronutrientes. *Soil Science and Plant Nutrition*, 243–248.

- SADR. 2020. Maíz el cultivo de México. Recuperado 14 de octubre de 2021, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexic>
- Savci**, S. 2012. Investigation of Effect of Chemical Fertilizer son Environment. *APCBEE Procedia*, 1, 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.047>
- Seldin**, L., Rosado, A. S., da Cruz, D. W., Nobrega, A., van Elsas, J. D., & Paiva, E. 1998. Comparison of Paeni bacillusaz otifixans Strains Isolated from Rhizoplane, Rhizosphere, and Non-Root-Associated Soil from Maize Planted in Two Different Brazilian Soils. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol64(10), 3860–3868.
- SEMANART**, CONABIO, SAGARPA, & INE. 2008. *Agrobiodiversidad en México: el caso del Maíz*. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/dgipea/descargas/agrodiversidad.pdf>
- SIAP**. 2012. Usos del Maíz. Recuperado de <http://siaprendes.siap.gob.mx/contenidos/2/03-maiz/contexto-5.html>
- SIAP**. 2021. *Escenario mensual de productos agroalimentarios*. Dirección de Análisis Estratégico. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667952/Escenario\\_maiz\\_blanco\\_ago21.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667952/Escenario_maiz_blanco_ago21.pdf)
- Smith**, K.P. y R. Goodman. 1999. Host variation for interactions with beneficial plant-associated microbes. *Annu. Rev. Phytopathol.* Vol 37: 473-491
- Sprent**, J. I., & D´Faria, S. M. (1989). Mechanisms of infection of plants by nitrogen fixing organisms. Department of Biological Sciences, University of Dundee, Dundee, 3–11.
- Torre**, D., A. P. 2016. Estas son las 64 razas de maíz en México. *Más de México*. Recuperado de <https://masdemx.com>
- Udvardi**, M., Brodie, E. L., Riley, W., Kaeppler, S., & Lynch, J. 2015. Impacts of Agricultural Nitrogenon the Environment and Strategies to Reduce these Impacts. *Procedia Environmental Sciences*, 29, 303.



- UNEP**, United Nations Environment Programme. 2021. Fertilizantes: desafíos y soluciones para proteger nuestro planeta. Recuperado 5 de junio de 2022, de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/fertilizantes-desafios-y-soluciones-para-proteger-nuestro-planeta>
- van Deynze**, A., Zamora, P., Delaux, P. M., Heitmann, C., Jayaraman, D., Rajasekar, S., . . . Bennett, A. B. 2018. La fijación de nitrógeno en una variedad local de maíz está respaldada por una microbiota diazotrófica asociada a mucílago. *PLOS Biology*, 16(8), e2006352.
- van Peer**, R., Nieman, G. J., & Schippers, S. 1991. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of *Fusarium* wilt of carnation by *Pseudomonas* strain. *WCS417r. Phytopathology*. Vol81:, 728–734.
- Vidal**, M., V. A., Herrera, C., F., Coutiño, E., B., Sánchez, G., J. J., Ron, P., J., Ortega, C., A., & Guerrero, H., M. D. J. 2010. Identificación Y Localización De Una Nueva Especie De *Tripsacum*Spp. En Nayarit, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(Especial\_4), 27–30. [https://doi.org/10.35196/rfm.2010.especial\\_4.27](https://doi.org/10.35196/rfm.2010.especial_4.27)
- Wang**, Y., Zhu, Y., Zhang, S., & Wang, Y. 2018. What could promote farmers to replace chemical fertilizer with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*. Vol199, 882–890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>
- Wellhausen**, E. J., L. M. Roberts y E. Hernández X., en colaboración con P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México, su origen, Características y Distribución. Folleto Técnico no.5. Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. 237 p.
- Zhulin**, I.B., Bessalov, V.A., Johnson M.S. & Taylor, B.L. 1996. Oxygen taxis and proton motive force in *Azospirillum brasilense*. *J. Bacteriology* Vol. 178 (17): 5199-5204.

## APÉNDICE

**Anexo 1.** Fotografías de las seis accesiones de maíz evaluadas en la presente investigación.

---



: Tabloncillo  
IsMéx-013



Olotillo amarillo  
IsP-201



Dulce amarillo de Jalisco  
UAAAN18-0206#pap



Zapalote chico  
UAAAN18-0109#pap



Tuxpeño  
IsP-150



Bolita de Oaxaca  
UAAAN18-0116#pap

---

**Fuente:** Elaboración propia