

**Evaluación de mecanismos de polinización en la producción de semilla híbrida de  
maíz *Zea mays* (FNC8134 de FENALCE) en el Valle del Cauca**

Norvey Hernán Serrano Tilmas

Mónica Serrano Tilmas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

CEAD Palmira

2020

**Evaluación de mecanismos de polinización en la producción de semilla híbrida de  
maíz *Zea mays* (FNC8134 de FENALCE) en el Valle del Cauca**

Norvey Hernán Serrano Tilmas

Mónica Serrano Tilmas

Trabajo de grado en la modalidad de “Proyecto aplicado”

Para optar al título de agrónoma

Director

Leonardo Alvarez Rios, M.Sc; Ph.D Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

CEAD Palmira

2020

Proyecto aplicado

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Palmira, Octubre 25 de 2020

*Dedicatoria*

A nuestro padre celestial ( Dios) que nos ha dado la salud y vida en todo este proceso, gracias a Él hemos llegado a donde estamos, a nuestros padres que siempre están brindándonos todo el apoyo económico y moral para terminar nuestras metas, nuestra hermana que siempre está allí pendiente que todos nuestros sueños se nos hagan realidad con tanto orgullo, a nuestras parejas Johana y Andrés que con su comprensión, ayuda, esfuerzo cariño y todo el amor que nos ofrecen han estado siempre allí, a Luciana que cuando crezca se sienta orgullosa de ambos por este maravilloso logro obtenido, a nuestra sobrina valentina que nos admira y se siente feliz que terminemos nuestra carrera.

A nuestra tía Blanca desde el cielo se alegra y siempre fue nuestra fuente de motivación e inspiración para que este sueño se realizara.

Muchas gracias a todos.

## Tabla de contenido

	Pag
Introducción.....	11
Objetivos.....	13
Objetivo general .....	13
Objetivos específicos .....	13
Marco conceptual y teórico .....	14
Origen .....	14
Generalidades del cultivo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Producción nacional .....	17
Mejoramiento genético .....	19
Polinización .....	22
Estudios relacionados .....	24
Materiales y métodos.....	26
Localización.....	26
Genotipo vegetal.....	26
Tratamientos experimentales .....	26
Procedimiento en campo .....	27
Variables de respuesta .....	28
Manejo agronómico del experimento .....	30

Población establecida por tratamiento:.....	30
Fertilización para todos los tratamientos:.....	30
Control de arvenses .....	31
Control de Plagas.....	31
Control de enfermedades .....	31
Riegos .....	32
Cosecha .....	32
Diseño experimental.....	34
Resultados y discusión .....	35
Características morfológicas del híbrido FNC8134 .....	35
Rendimiento de la planta asociado a los diferentes mecanismos de polinización.....	36
Cuantificación del llenado de grano en la mazorca .....	39
Conclusiones.....	47
Recomendaciones .....	48
Agradecimientos.....	49
Referencias bibliográficas .....	50

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Ilustración del diseño de los surcos. ....	28
<b>Figura 2.</b> Tratamientos en campo. ....	29
<b>Figura 3.</b> Diseño experimental: diseño de bloques completos al azar con tres bloques que se constituyen en las tres repeticiones. ....	29
<b>Figura 4.</b> Cosecha de los tratamientos. ....	32
<b>Figura 5.</b> Medición de la masa de cada tratamiento. ....	32
<b>Figura 6.</b> Distribución del número de granos entre Tratamientos. ....	40
<b>Figura 7.</b> Promedio de numero de granos por mazorca entre bloques. ....	40
<b>Figura 8.</b> Promedio de numero de granos por mazorca. ....	41
<b>Figura 9.</b> Distribución del rendimiento (Kg/ha) entre los tratamientos ....	44
<b>Figura 10.</b> Distribución promedio de los rendimientos (Kg/ha) por tratamiento. ....	45
<b>Figura 11.</b> Distribución promedio de los rendimientos (Kg/ha) por Bloques. ....	46

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Características del híbrido FNC 8134 .....	35
<b>Tabla 2.</b> Variables de respuesta por tratamiento.....	28
<b>Tabla 3.</b> Fertilización por hectárea. ....	30
<b>Tabla 4.</b> Cronograma de actividades. ....	33
<b>Tabla 5.</b> Datos del experimento para número de granos por mazorca .....	36
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza para número de granos por mazorca. ....	37
<b>Tabla 7.</b> Interpretación de los resultados de varianza para el numero de granos por mazorca.....	37
<b>Tabla 8.</b> Información climática promedia en etapa de polinización.....	38
<b>Tabla 9.</b> Datos del experimento para rendimiento en producción de maíz (kg/ha).....	42
<b>Tabla 10.</b> Análisis de varianza rendimiento en producción de maíz. ....	42
<b>Tabla 11.</b> Interpretación de los resultados de varianza de rendimiento en producción de maíz. ....	43



## Resumen

El maíz (*Zea mays*) es el cultivo de mayor área sembrada, el más producido y consumido en el mundo desde 1998, se produce en todos los continentes; siendo 168 los países que lo cultivan. En Colombia es considerado el principal cultivo de ciclo corto; se considera una especie clave en la alimentación y cultura de América, considerándose así, un elemento estratégico para la soberanía y seguridad alimentaria en América latina, presentando una dinámica particular en sus distintas formas de usos y valores socioculturales. El objetivo principal de trabajo, se realizó con base a la, evaluación de mecanismos de polinización en la producción de semilla híbrida de *Zea mays* del híbrido FNC 8134 mediante el uso de tres mecanismos de polinización manual, natural y mecánica, en el municipio de Guadalajara de Buga, se desarrolló a campo abierto en parcela experimental, en donde se implementaron 6 tratamientos con 3 repeticiones y un diseño experimental de bloques completos al azar; las variables de respuesta evaluadas fueron, Numero de mazorcas, Número de plantas, Peso mazorca, Numero de granos, Peso de grano. Los resultados obtenidos evidenciaron que para los diferentes tratamientos evaluados, los datos estadísticos de varianza y prueba de medias, de número de granos por mazorca no presenta diferencia significativa; los análisis de varianza de rendimientos presentaron diferencia entre los tratamientos sin hojas comparado con los tratamientos con hojas, siendo el tratamiento 1 y el tratamiento 5 (control) respectivamente; es así que se concluye que el deshoje se presenta como una labor innecesaria, al igual que, el uso de alternativas de polinización, se relacionan directamente a condiciones medioambientales pre existentes.

**Palabras claves:** Maíz, polinización, híbrido

## Abstract

Corn (*Zea mays*) is the crop with the largest planted area, the most produced and consumed in the world since 1998, it is produced on all continents; 168 being the countries that cultivate it. In Colombia it is considered the main short-cycle crop; it is considered a key species in the food and culture of America, thus being considered a strategic element for food sovereignty in Latin America, presenting a particular dynamic in its different forms of uses and sociocultural values. The main objective of the work was carried out based on the evaluation of pollination mechanisms in the production of hybrid seed of *Zea mays* of the hybrid FNC 8134 through the use of three mechanisms of manual, natural and mechanical pollination, in the municipality of Guadalajara de Buga, an open field was developed in an experimental plot, where 6 treatments with 3 repetitions and an experimental design of complete random blocks were implemented; The response variables evaluated were, Number of ears, Number of plants, Weight ear, Number of grains, Weight of grain. The results obtained showed that for the different treatments evaluated, the statistical data of variance and the means test, the number of grains per ear did not present a significant difference; yield variation analyzes show a difference between treatments without leaves compared to treatments with leaves, treatment 1 and treatment 5 (control) respectively; Thus, it is concluded that leaf removal is presented as an unnecessary task, as the use of pollination alternatives is directly related to pre-existing environmental conditions.

**Keywords:** Corn, Pollination, hybrid

## Introducción

El maíz (*Zea mays*) se cultiva en la mayoría de los países del mundo con un aproximado de 140 millones de hectáreas y 100 millones de ha en países de tercer mundo.

Desafortunadamente, los países en desarrollo como Colombia no producen el suficiente maíz para satisfacer la demanda del mercado interno, por lo tanto, deben importar maíz de estados unidos. Por consiguiente, se presenta como alternativa, el mejorar la polinización en aras de producir mayor semilla a menor costo generando mayores ingresos a los agricultores (FAO, 1993).

Un híbrido de maíz es resultado de cruzar dos líneas con características deseables como son tolerantes a enfermedades, plagas y también que los híbridos obtenidos tengan mejores rendimientos y granos cristalinos (Pantoja *et al.*, 2014).

La polinización es la transferencia de polen (célula masculina) desde los estambres (parte masculina de la flor) hasta el estigma (parte femenina de la flor) y hace posible la fecundación, y por lo tanto la producción de frutos y semillas. Aunque la polinización puede ser llevada a cabo tanto por vectores bióticos (animales) como abióticos (agua o viento). (Pantoja *et al.*, 2014) .

El proyecto se basó en el objetivo principal de, la evaluación de mecanismos de polinización en la producción de semilla híbrida de *Zea mays*, siendo uno de los aspectos más relevantes en la producción de semilla.

La evaluación de la polinización del híbrido FNC 8134 mediante el uso de tres mecanismos de polinización (manual, natural y mecánica), en el municipio de Guadalajara de Buga en el Centro Agropecuario de Buga. La parcela experimental fue de 6 tratamientos (T1. Motor soplador sobre la espiga del parental masculino sin eliminar las hojas que cubren los estigmas del parental femenino, T2. Motor soplador y eliminar las hojas que cubren los estigmas del parental femenino, T3. Movimiento manual de las espigas del parental masculino sin eliminar las hojas que cubren los estigmas de la mazorca, T4. Movimiento manual de las espigas del parental masculino eliminando las hojas que cubren los estigmas de la mazorca, T5. Testigo. Polinización natural eólica, T6. Polinización natural por viento, eliminando las hojas que cubre la mazorca; se realizaron 3 repeticiones, bajo diseño experimental de bloques completamente al azar. Por consiguiente, se realizaron las técnicas agronómicas implementadas en la producción de semillas como el uso de mecanismos que permitan maximizar la mayor cantidad fecundación de los óvulos. Las variables de respuesta de evaluación fueron, número de granos por mazorca (Llenado), Productividad Rendimiento de grano por mazorca y Rendimiento por ha.

Los resultados obtenidos evidenciaron que, en los datos estadísticos de varianza de número de granos por mazorca y prueba de medias, no existe diferencia significativa entre los tratamientos, en contraste los análisis de varianza de los rendimientos, evidenciaron que existe diferencia significativa entre los tratamientos sin hojas comparado con los tratamientos con hojas, el tratamiento 1 y el tratamiento 5 (control), dan como resultado que el deshoje se presenta como una labor innecesaria bajo condiciones de viento adecuadas.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar mecanismos de polinización en la producción de semilla híbrida de *Zea mays* (FNC8134 de FENALCE) en un campo de producción del municipio de Guadalajara de Buga (Valle del Cauca).

### **Objetivos específicos**

- Caracterización morfológica del híbrido de Maíz FNC8134.
- Cuantificar el llenado de grano en la mazorca de Maíz a partir de diferentes mecanismos (Tratamientos) de polinización en el híbrido de Maíz FNC8134.
- Evaluar el rendimiento de la planta asociado a los diferentes mecanismos (Tratamientos) de polinización en el híbrido de Maíz FNC8134.

## Marco conceptual y teórico

### Origen

El maíz, (*Zea mays*), pertenece a la clase monocotiledóneas, siendo familia de las Poáceas (Gramíneas) y se presume que su origen se asocia en América Latina, especialmente el género *Zea*. Evidencias arqueológicas y moleculares ubican el Centro de Origen de este cereal en el sur de México entre 6.600 y 9.000 años atrás. Es en esta zona donde, además de existir una gran variabilidad genética, crecen espontáneamente sus parientes más cercanos, el Teosinte y *Tripsacum* (Heck, 2006).

Grupo: *Fanerógamas*

División: *Espermatófitas*

Subdivisión: *Angiospermas*

Clase: *Monocotiledóneas*

Orden: *Glumifloras*

Familia: Poáceas (*Gramineae* )

Tribu: *Maydeae*

Género: *Zea*

Especie *Zea mays*

La primera clasificación del maíz, fue realizada por Sturtevant, donde observó que se puede generar variación dentro del grano de manera artificial, basado en la textura o estructura del endospermo y consideró siete grupos:

Maíz tunicado: *Zea mays tunicata* St., se considera uno de los tipos más primitivos de los maíces cultivados. Se caracteriza por presentar cada grano envuelto en su propia bráctea. No tiene valor comercial.

Maíz reventón: *Zea mays everta* St. Se caracteriza por presentar granos pequeños con endospermo cristalino, constituido preferentemente por almidón córneo. Es capaz de explotar cuando es sometido al calor. Da lugar a las llamadas cotufas o palomitas.

Maíz cristalino: *Zea mays indurata* St. Se caracteriza por presentar granos con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con almidón en su mayoría córneo.

Maíz amiláceo: *Zea mays amilácea* St. Se caracteriza por presentar granos con endospermo blando, suave amiláceo. En este grupo el maíz Blanco Gigante del Cuzco o Blanco Imperial es legado del imperio incaico, que causa la admiración por el gran tamaño de su grano y alto rendimiento.

Maíz dentado: *Zea mays indentata* St. Se caracteriza por presentar granos con endospermo formado con almidón córneo cristalino, tanto en su exterior como interior. Están coronados en la parte superior con almidón blando suave, que a la madurez origina una depresión central superior, debido a una mayor hidratación, dándole al grano la forma característica de diente.

Maíz dulce: *Zea mays saccharata* St. Se caracteriza por presentar maíces dulces y un grano completamente arrugado cuando están maduros. Posee un gen recesivo en el cromosoma 4, el cual impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón.

Maíz ceroso: *Zea mays ceratina* Kul. Se caracteriza por presentar aspecto ceroso en el endospermo. En el maíz normal o corriente, la molécula de almidón está compuesta por 75 % de amilopectina y 25 % de amilosa. En cambio, en el maíz ceroso (waxy), el almidón

está constituido por 100 % de amilopectina, lo que origina un almidón de característica gomosa parecido al de yuca.

Esta clasificación ha sido usada casi sin modificación durante los últimos 50 años, aunque algunos plantean que la clasificación solo sobre caracteres del endospermo depende para su expresión de un único punto sobre un cromosoma (6), por lo que resulta importante efectuar una clasificación sobre todo el plasma germinal e incluir el mayor número de datos genéticos como características de las mazorcas, caracteres genéticos, citológicos, fisiológicos y agroquímicos. Por tal motivo, dichos autores propusieron una clasificación basada en la constitución genética total e hicieron una clasificación de los maíces criollos de México, Centro y Sudamérica, y parte de los Estados Unidos. (Acosta, 2009).

### **Generalidades del cultivo**

El maíz es el cultivo de mayor área sembrada, el más producido y consumido en el mundo desde 1998, cuando sobrepasó al trigo en volumen de producción; además, ha venido creciendo en los últimos años a una tasa anual del 2,5%. Se estima que el 92% de las siembras corresponden a maíz amarillo y el 8% restante al maíz blanco. El maíz se produce en todos los continentes; siendo 168 los países que lo cultivan (FAO, 1993, Pantoja et al., 2014).

En Colombia el maíz es considerado el principal cultivo de ciclo corto ya que ocupa el 15% del área agrícola, es generador del 4% de los empleos agrícolas y aporta el 3% al PIB agropecuario. El área de siembra se distribuye entre dos tipos: maíz blanco que ocupa



el 33,2% de la superficie y maíz amarillo con el 66,8%, el primero dedicado principalmente a consumo humano y el segundo para consumo animal (El Universal, 2012).

El maíz es una especie clave en la alimentación y cultura de América (Coll, H. A. y Godínez, 2003), consideran al maíz como un elemento estratégico para la soberanía y seguridad alimentaria en América latina en sus distintas formas de usos y valores socioculturales, principalmente en las zonas rurales. Este cereal fue domesticado y venerado por las culturas prehispánicas, y sigue siendo la base de la alimentación mexicana (Coll, H. A. y Godínez, 2003, FAO, 1993).

El maíz es un cultivo que necesita suelos fértiles, estructurados, con materia orgánica y profundos que permitan el desarrollo de las raíces, que tengan capacidad de retención de humedad, pero al mismo tiempo con buen drenaje, y que permitan un aprovechamiento óptimo de los nutrientes. En muchos manuales de agricultura se insiste en la necesidad de numerosas labores preparatorias para el cultivo del maíz, pero en la actualidad, el desarrollo de la Agricultura de Conservación, y más concretamente de la Siembra Directa, ha demostrado que, en un suelo con las características descritas anteriormente, el maíz puede tener un perfecto desarrollo vegetativo y alcanzar su máxima producción prescindiendo de las labores. (Ortas, 2008).

### **Producción nacional**

En la actualidad, los agricultores colombianos se han visto obligados a mejorar los rendimientos de sus cultivos, debido a la competencia con las grandes potencias productoras de grano de maíz principalmente Estados Unidos. Por esta situación las

empresas deben trabajar diariamente en el mejoramiento de sus materiales genéticos. Los rendimientos de la producción de semillas mejoradas es 3.5 Toneladas por ha y la polinización cruzada es afectada cuando el polen del parental masculino no llega al estigma del parental femenino. Esta situación hace que los productores de semilla estén obligados a evaluar mecanismos que permitan mejorar la fecundación de los óvulos, para mejorar los rendimientos en la producción de semilla híbridos convencionales.

En la producción mundial Colombia ocupa el Puesto número 41 según Index Mundi. En Colombia el maíz amarillo tecnificado ocupa la mitad de la producción, siendo el departamento de Córdoba el primer productor, seguido del Valle del Cauca, y se estima que en 200.000 familias se benefician económicamente de esta actividad (CIMMYT, 1994). El aporte al PIB agropecuario, el maíz es considerado como el principal cultivo de ciclo corto, ocupa 15% del área agrícola, genera el 4% de los empleos agrícolas y aporta un 3% aproximadamente al PIB agropecuario (CIMMYT, 1994).

En Colombia el maíz es considerado el principal cultivo de ciclo corto ya que ocupa el 15% del área agrícola, es generador del 4% de los empleos agrícolas y aporta un 3% al PIB agropecuario (El Universal, 2012). El área de siembra se distribuye entre dos tipos: maíz blanco que ocupa el 33,2% de la superficie y maíz amarillo con el 66,8%, el primero dedicado principalmente a consumo humano y el segundo para consumo animal.

El maíz cobra importancia agronómica en muchas regiones del mundo debido a su resistencia a sequía y a altas temperaturas. En nuestro país, la importancia del maíz como integrante de un sistema de producción, radica en la utilización como grano y forraje para

alimento animal y como parte esencial de un sistema de rotaciones para mantener la productividad y estabilidad estructural del suelo (CIMMYT, 1994).

### **Mejoramiento genético**

Para la producción de semilla del híbrido se requiere eliminar la espiga del parental femenino, quedando los estigmas de la mazorca expuestos a la posibilidad de ser fecundados por parte del polen producido por el parental masculino, situación que puede ser afectada por la falta de viento, por la cantidad de surcos del parental femenino y los surcos del parental masculino. Otro factor que impide la polinización es la cantidad de hojas que cubren los estigmas de la mazorca. Para ello se requiere implementar algunos mecanismos que facilite el desplazamiento del polen del parental masculino a los estigmas del parental femenino.

La producción de semilla de híbridos de *Z. mays* juega un papel importante para la humanidad, ya que cada día hay más personas que necesitan alimentarse. Por esta razón los productores de semilla deben mejorar los rendimientos, pero en la producción de maíz encontramos una etapa del cultivo crítica que es la producción de semilla de híbridos de maíz requiere de unas prácticas agronómicas que le permita tener una coincidencia en la floración de los estigmas en el parental femenino con la emisión del polen del parental masculino con el fin de maximizar la mayor cantidad fecundación de los óvulos que se convertirán luego en el grano como semilla.

El fitomejoramiento tradicional continúa siendo una herramienta clave, con el fin de incrementar la productividad, rendimiento y competitividad de los cereales, en especial el caso del maíz. A pesar de su importancia, la investigación nacional en fitomejoramiento en maíz, se debilitó en los últimos 15 años como consecuencia de la política de apertura económica. Se considera que los cereales en el país no tenían posibilidades de ser competitivos. el gobierno nacional redujo la inversión en la investigación agropecuaria esta opción tecnológica queda en manos de la industria privada, a partir del año 2000, FENALCE ha tomado la iniciativa de comenzar un programa de fitomejoramiento en maíz. lo cual dio origen al establecimiento de un convenio de cooperación técnica y científica, para fortalecer la investigación en mejoramiento de maíz. el fomento del maíz en la zona cafetera ha tenido un gran éxito. El trabajo continuado dio origen a la selección de cinco híbridos de maíz blanco. el potencial de producción de estos maíces, permitieron que el ICA aprobara tres híbridos, FNC 3051, 3054 y 3056. aprobado este híbrido para la zona (FENALCE, 2007).

Bajas distribuciones del polen en la producción de semillas de maíz generan un deficiente llenado de las mazorcas o mazorcas vacías por falta de fecundación del ovulo; esta situación afecta significativamente los rendimientos de la producción de semilla híbrida. (MacRobert *et al.*, 2015)

Un híbrido de maíz es así, el resultado de cruzar dos líneas (parental masculino y parental femenino) con características agronómicas deseables como son la resistencia a enfermedades, plagas, mejores rendimientos y granos cristalinos (Pantoja *et al.*, 2014)

El desarrollo de híbridos de maíz, con alto potencial de rendimiento, se ha convertido en una tarea constante, considerando que las casas productoras de semillas incrementan significativamente las pruebas de sus variedades y la producción para tal fin. Estas circunstancias han hecho que el maíz, que ha sido un cultivo de gran importancia en el país, vuelva a tener popularidad, trayendo en consecuencia, una gran demanda de semilla para la siembra y una tendiente necesidad de información, sobre la visualización de tecnologías de su cultivo y el crecimiento constante de pruebas y estudios que promuevan su utilización en la producción animal como alimento de especies bovinas, equinas y demás, también como alternativa de suplementación desde los forrajes hasta su posible utilización en la producción de biocombustibles (MacRobert *et al.*, 2015).

La semilla de maíz híbrido tiene rendimientos de 9 ton/ha, en comparación con variedades de maíz que tiene rendimientos de 4,5 ton/ha; el nivel de manejo agronómico del híbrido, debe ser mayor, debido a que dichas líneas son de mayor susceptibilidad al ataque de plagas, enfermedades o estrés hídrico. Teniendo en cuenta todas las labores de campo que mejoran los rendimientos en la producción de semilla, como lo es el ejemplo de, sembrar en el momento óptimo, aplicación calibración adecuada en el uso de fertilizantes y manejo del agua (MacRobert *et al.*, 2015).

La producción de semilla de híbridos de *Zea mays* juega un papel clave para el consumo alimenticio de la humanidad, debido a que cada día hay más personas que necesitan alimentarse; por esta razón los productores de semilla deben mejorar los rendimientos. En la producción de maíz encontramos una etapa del cultivo crítica, que es la producción de semilla de híbridos de maíz, la cual requiere de prácticas agronómicas que le

permita tener una coincidencia en la floración de los estigmas en el parental femenino, con la emisión del polen del parental masculino, esto con el fin de maximizar la coincidencia y mayor fecundación de los óvulos que se convertirán en el grano como semilla (Vallejo & Estrada, 2002).

Se requiere tener conocimiento agronómico que permita tener una coincidencia en la floración de los estigmas en el parental femenino con la emisión del polen del parental masculino con el fin de maximizar la mayor cantidad fecundación de los óvulos que se convertirán luego en el grano como semilla. Por tanto, este proyecto se realizará con el objetivo de evaluar diferentes mecanismos de un híbrido de maíz ya que los actuales rendimientos de polinización natural en días de baja velocidad del viento son desfavorables.

### **Polinización**

La polinización es la transferencia de polen (célula masculina) desde los estambres (parte masculina de la flor) hasta el estigma (parte femenina de la flor) y hace posible la fecundación, por lo tanto, la producción de frutos y semillas; no obstante, la polinización puede ser llevada a cabo tanto por vectores bióticos (animales) como abióticos (agua o viento) (Pantoja *et al.*, 2014).

El maíz es una planta con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta (Monoica), con inflorescencia terminal estaminada (panoja) o flor masculina; y flores femeninas pistiladas, ubicadas en yemas laterales (mazorcas); así, el maíz produce su rendimiento económico (grano) en ramificaciones laterales. Como

resultado de esta separación de mazorca y panoja, y del fenómeno llamado protandria (Maduración de las gónadas masculinas antes que las gónadas femeninas) en la floración, el maíz es una especie alógama (de polinización cruzada) y su tipo de inflorescencia ha permitido la producción de híbridos con alto potencial de rendimiento y amplia adaptación (Reyes, 1990).

Bajo condiciones favorables los granos de polen permanecen viables sólo de 18 a 24 horas, sin embargo, debido a que el grano de polen inicia el crecimiento de su tubo polínico, un jilote bien desarrollado deberá producir entre 750 y 1,000 óvulos (potenciales granos o semillas de maíz). El polen es depositado sobre el estigma, luego inicia su camino a través del estigma hasta ponerse en contacto con el óvulo; fusionándose y vertiendo así la información genética contenida dentro del grano de polen, lo que sucede entre las 12 y 18 horas después de haberse depositado sobre el estigma. Un jilote bien desarrollado deberá producir entre 750 y 1,000 óvulos (potenciales granos o semillas de maíz), cada uno de los cuales producirá su propio estigma o pelo del jilote. Los estigmas más cercanos a la base del jilote son los primeros en aparecer mientras que aquellos que se ubican en la punta, son los últimos en aparecer. Bajo condiciones favorables, todos los estigmas deberán emerger y estar listos para ser polinizados entre los 3 y 5 días después de la aparición de los primeros estigmas lo que generalmente les proporciona el tiempo suficiente para que todos los estigmas queden polinizados antes de que cese la diseminación del polen. el polen de una planta determinada rara vez fecunda a los estigmas de la misma planta. de hecho, bajo condiciones normales de campo, un 97 % o más de los granos producidos por cada planta, son polinizados por otras plantas (Rodríguez, 2016).

Se requiere tener conocimiento agronómico que permita tener coincidencia en la floración de los estigmas en el parental femenino, con la emisión del polen del parental masculino, con el fin de maximizar la cantidad de fecundación de los óvulos, que posteriormente se convertirán en el grano como semilla. Por lo anterior, este proyecto se realizará con el fin de evaluar diferentes mecanismos de polinización del híbrido FNC8134 ya que los actuales rendimientos de polinización natural en días de baja velocidad del viento son desfavorables por debajo de las 3 ton/ha. De igual manera se pretende obtener 4 ton / ha y brindar a los agricultores mecanismos de polinización, así como su rentabilidad y eficiencia.

### **Estudios relacionados**

El polen se dispersa a través del viento (Messeguer, 2003), y su transferencia es afectada por aspectos relacionados con la sincronía en tiempos de floración, distancia de aislamiento y condiciones climáticas (Baltazar, B., J. Sánchez, 2005; Bannert & Stamp, 2007). El polen se libera desde las anteras en la parte superior de la planta, su diámetro oscila de 90 a 100 micras y su peso es de aproximadamente 0.25 microgramos (Aylor, D. E., 2003; Fonseca *Et Al.*, 2003, reportado por Robayo & Galindo, 2014).

En evaluaciones con vientos predominantes del sudeste (SE), dado que fueron los de mayor frecuencia (8/18), pero con baja velocidad promedio de desplazamiento (2,9 km/h), y con variables climáticas evaluadas en un periodo de 18 días como, temperatura máxima media de 28,2°C y mínima media de 17,9°C; humedad relativa media ambiental de 78,9% a las 8h; 62,1% a las 14h y 83,2% a las 20h, respectivamente; estas variables



evidencian óptimo desarrollo principalmente la floración del cultivo de maíz y coinciden con un periodo climático óptimo para el cultivo (Sauthier & Castaño, 2004).

La polinización está relacionada con la altura de la planta, es así que una planta con mayor altura puede favorecer la dispersión del polen; entre mayor sea la diferencia con la altura de la mazorca mejor será la polinización. (Ortiz et al., 2010)

Los granos de polen pueden desplazarse con el viento hasta alcanzar alturas superiores a 50 m, límite en el cual la viabilidad es 20 %, pero al aumentar la altura la viabilidad de las partículas decrece. Además, la viabilidad del polen depende de factores relacionados con su contenido de agua y condiciones climáticas. (Robayo, Galindo, 2014).

Se conoce muy poco acerca del mantenimiento, desarrollo y multiplicación de semillas mejoradas, aunque se conoce sobre los procedimientos para la producción de semilla de híbridos y el mantenimiento de líneas endogámicas ( CIMMYT, 1999)

Entre 7 y 14 días puede durar la producción de polen y la emisión de estigmas, en este periodo puede ser posible que no coincidan, aunque los progenitores macho y hembra hayan sido sembrados al mismo tiempo (MacRobert et al., 2015).

## **Materiales y métodos**

### **Localización**

El experimento se realizó a campo abierto, en la Finca del Centro Agropecuario del Sena Regional Valle del Cauca, el cual cuenta con suelos de textura franco-arcillosa. La finca está ubicada en el Municipio de Guadalajara de Buga (Valle del Cauca), a 3° 54' 07" de latitud norte y 76° 18' 14" de longitud al oeste, coordenadas respecto al meridiano de Greenwich, a una altitud de 969 m.s.n.m, presenta humedad relativa promedio de 75%, temperatura media anual de 23°C, precipitación media anual de 1000 mm y se ubica en el piso térmico cálido, con un clima clasificado por Köppen como subhúmedo tropical. La frecuencia de lluvias es bimodal con dos períodos lluviosos entre marzo - mayo el primero y entre septiembre - noviembre el segundo. La evapotranspiración potencial alcanza valores de 1500 mm/año. Datos obtenidos de la estación meteorológica del Centro agropecuario de Buga.

### **Genotipo vegetal**

Semilla híbrida de *Zea mays* (FNC8134 de FENALCE).

### **Tratamientos experimentales**

Metodología diseñada por Gustavo Lemos Magister en Fitomejoramiento, FENALCE.

Los mecanismos de polinización se realizaron en los siguientes tratamientos (T):

T1. Motor soplador sobre la espiga del parental masculino sin eliminar las hojas que cubren los estigmas del parental femenino.

T2. Motor soplador y eliminar las hojas que cubren los estigmas del parental femenino

T3. Movimiento manual de las espigas del parental masculino sin eliminar las hojas que cubren los estigmas de la mazorca.

T4. Movimiento manual de las espigas del parental masculino eliminando las hojas que cubren los estigmas de la mazorca.

T5. Testigo. Polinización natural eólica.

T6. Polinización natural por viento, eliminando las hojas que cubre la mazorca.

### **Procedimiento en campo**

Se sortearon al azar los tratamientos, área total del lote experimental  $4000\text{ m}^2$ , área por tratamiento  $56\text{ m}^2$ . Cada tratamiento incluía franjas del parental femenino de 20 metros de longitud por 4 surcos. Se identificaron con cintas y etiquetas con el número de tratamiento. Sobre ellas, se aplicaron los tratamientos durante la emisión del polen del parental masculino.

Se dejaron 3 franjas del parental femenino entre cada uno de los tratamientos y sus repeticiones con el fin de evitar la interacción entre tratamientos.

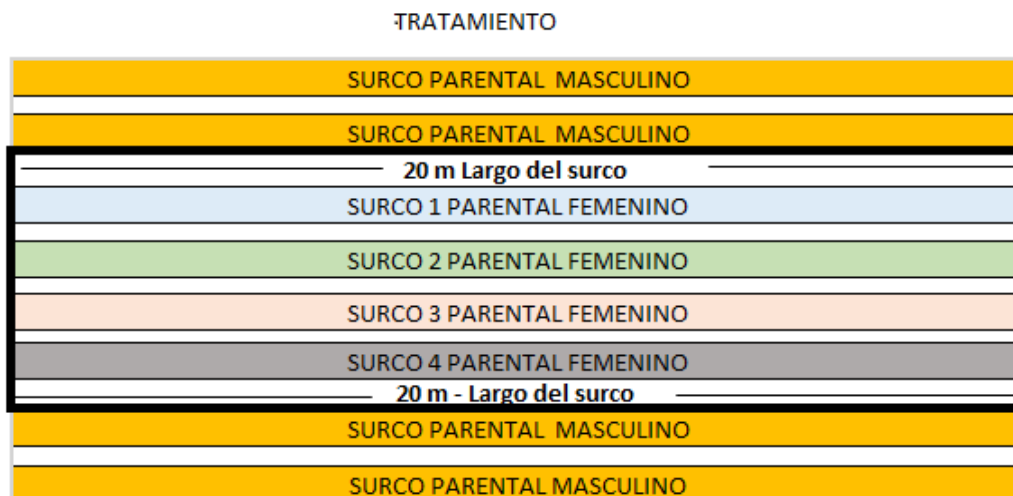
Cuando el cultivo llegó a madurez de cosecha, se recolectaron 10 metros centrales de cada parcela por cada surco individual, con el fin de ubicar la posición del surco con relación a la ubicación del parental masculino.

### VARIABLES DE RESPUESTA

**Tabla 1.** Variables de respuesta por tratamiento.

Variable	Unidad
Numero de mazorcas	Unidad
Número de plantas	Unidad
Peso mazorca	Gramos
Numero de granos	Unidad
Peso de grano	Gramos

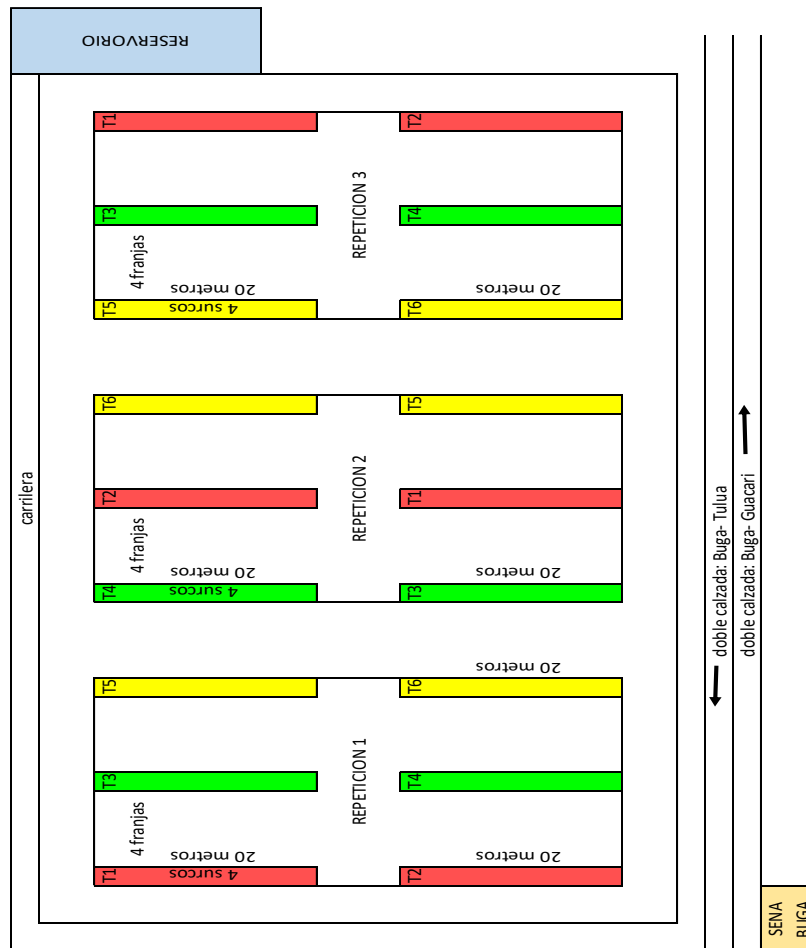
Estas variables se registraron de acuerdo con la figura 1.



**Figura 1.** Ilustración del diseño de los surcos.



**Figura 2.** Tratamientos en campo.



**Figura 3.** Diseño experimental: diseño de bloques completos al azar con tres bloques que se constituyen en las tres repeticiones

## Manejo agronómico del experimento

Preparación del terreno: Tractor, implementos agrícolas

Siembra: Estacas, Piola, Decámetro, etiquetas para identificar parcelas, papelería para elaboración libros de campo.

Semilla, fertilizantes Urea, KCl, DAP, Agromenores, ACPM.

Maquina sopladora, palo.

## Población establecida por tratamiento:

Distancia entre surcos 70 cm, 9 plantas por metro lineal.

## Fertilización para todos los tratamientos:

Tabla de Nutrición recomendada por el Ingeniero Gustavo Lemos de FENALCE.

**Tabla 2.** Fertilización por hectárea.

Aplicación	Elemento			
	N	P	K	Menores
<b>Primera</b>	50	50	100	20
<b>Segunda</b>	125	0	50	0
<b>Tercera</b>	125	0	0	0

**Fuente:** Gustavo Lemos; FENALCE 2020 comunicación personal.

Se aplicó fertilización foliar.

Silicato férrico 0,5 L/ha.

20 kilogramos de agromenores.

### **Control de arvenses**

Preemergente atrazina 3L/ ha.

Paraquat 0,5 L/ ha.

### **Control de Plagas**

El control de plagas se desarrolló bajo las siguientes aplicaciones.

- Primera: Cipermetrina 0,7L/ha.
- Segunda: imidacloprid 0,5L/ha + cipermetrina 0,7 L/ha.
- Tercera: Cipermetrina 0,7L/ha.
- Cuarta: imidacloprid 0,5L/ha + cipermetrina 0,7 L/ha.
- Quinta: Cipermetrina 0,7L/ha.
- Sexta: imidacloprid 0,5L/ha + cipermetrina 0,7 L/ha.
- Séptima: Cipermetrina 0,7L/ha.

### **Control de enfermedades**

Propiconazole 0,5 L/ ha.

## Riegos

La aplicación de riegos se estableció bajo nueve aplicaciones durante el desarrollo del experimento.

## Cosecha

La cosecha se realizó 145 días post germinación.



**Figura 4.** Cosecha de los tratamientos.



**Figura 5.** Medición de la masa de cada tratamiento.





MEDICIONES DE GRANO											X
------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

### Diseño experimental

Se implementó un diseño de Bloques completos al azar: BCA. La conformación de parcelas fue de: Surcos de 20 metros de longitud y 4 surcos, con tres repeticiones. La unidad experimental se conformó por 180 plantas por surco. Los resultados fueron analizados mediante el paquete estadístico de office Excel con un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de 95% con un nivel de significancia de 0,05.

## Resultados y discusión

### Características morfológicas del híbrido FNC8134

El maíz es una monocotiledónea perteneciente a la familia Gramínea, Tribu Maydae; es una gramínea anual con metabolismo fotosintético C4, monoica, con altura entre 1 a 4 metros, hojas alternadas en ambos lados del tallo, pubescentes, la floración masculina ocurre dos días antes que la floración femenina. La polinización ocurre por el viento libre y cruzada, una planta puede emitir 25 mil granos de polen por cada ovulo. (Yzarra, Trebejo, Noriega, 2010).

**Tabla 4.** Características del híbrido FNC 8134

Hibrido FNC 8134	
Color del grano	Amarillo
Nº hileras promedio	14 – 16 por mazorca
Nº de granos	39
Textura de grano	Semidentado, cristalino
Peso de 100 granos	38 gramos
Ciclo del cultivo para producir grano	Valle del Cauca 155 días
Producción por ha	10 Toneladas

### **Rendimiento de la planta asociado a los diferentes mecanismos de polinización**

Como base al análisis estadístico, el análisis de varianza permite evidenciar, que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos evaluados, pero si se evidencia diferencia significativa entre los bloques, esto demuestra que el diseño experimental fue adecuado para la investigación. (tabla 6). Con base a la información obtenida, se puede explicar que, sí prevalecen velocidades del viento superiores a los 7 km/hora, no es necesario aplicar mecanismos de polinización alternos, si finalidad radica en obtener mayor número de granos por mazorca. La velocidad y dirección del viento afectan directamente la distribución del polen. (Urbina, 2015).

**Tabla 5.** Datos del experimento para número de granos por mazorca

<b>Tratamiento</b>	<b>Bloque</b>			<b>Promedio</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
1_M_CH	344	303	304	<b>317</b>
2_M_SH	315	336	289	<b>313</b>
3_manu_CH	332	313	309	<b>318</b>
4_manu_SH	343	325	274	<b>314</b>
5_T_CH	341	338	297	<b>325</b>
6_T_SH	353	319	275	<b>315</b>
<b>Promedio</b>	<b>338</b>	<b>322</b>	<b>291</b>	<b>317</b>

**Tabla 6.** Análisis de varianza para número de granos por mazorca.

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
1_M_CH	3	952	317	539
2_M_SH	3	940	313	566
3_manu_CH	3	954	318	151
4_manu_SH	3	941	314	1294
5_T_CH	3	975	325	594
6_T_SH	3	946	315	1546
Bloque 1	6	2027	338	172
Bloque 2	6	1934	322	180
Bloque 3	6	1747	291	221

**Tabla 7.** Interpretación de los resultados de varianza para el numero de granos por mazorca.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>Interpretación</i>
Tratamiento	278,6	5	55,7	0,216	0,948	3,326	NO existe diferencia significativa

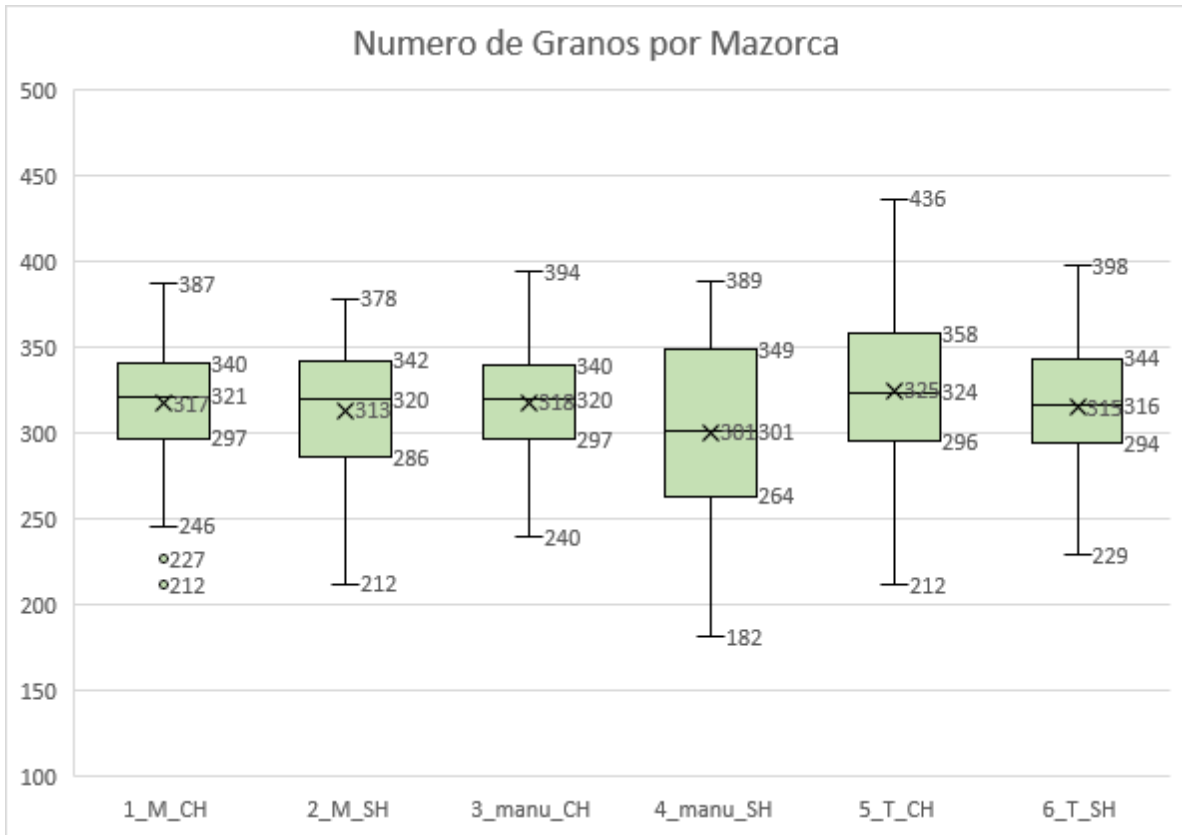
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>Interpretación</i>
							entre tratamiento
Bloques	6796,9	2	3398,5	13,155	0,002	4,103	si existe diferencia significativa entre bloques
Error	2583,4	10	258,3				
Total	9659,0	17					

**Tabla 8.** Información climática promedio en etapa de polinización

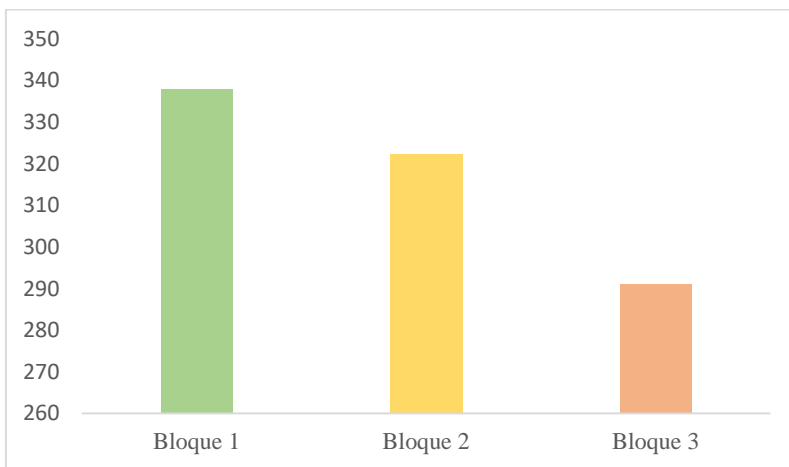
Información climática promedio en etapa de polinización	
Temperatura máxima	32°C
Temperatura mínima	18° C
Velocidad del viento	10 Km/ Hora
Humedad relativa promedio	75 %

### **Cuantificación del llenado de grano en la mazorca**

Los resultados del análisis de varianza de número de granos que representa la figura 6, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, pero existe una diferencia significativa entre los bloques, se observó que en la figura 7, hay diferencia significativa entre bloques, esto se debe a factores externos, entre las posibles consecuencias están: posición del bloque frente a la dirección del viento, condiciones físicas del suelo, etc. La dirección del viento favorece el tránsito del polen desde el cultivo emisor hacia las flores femeninas de las plantas receptoras. Es así como el número de granos cuajados por espigas evaluadas se incrementó en el sentido de los vientos predominantes. En distancias inferiores a los 97m se encontraron efectos directos en la polinización eólica (Sauthier & Castaño, 2004).



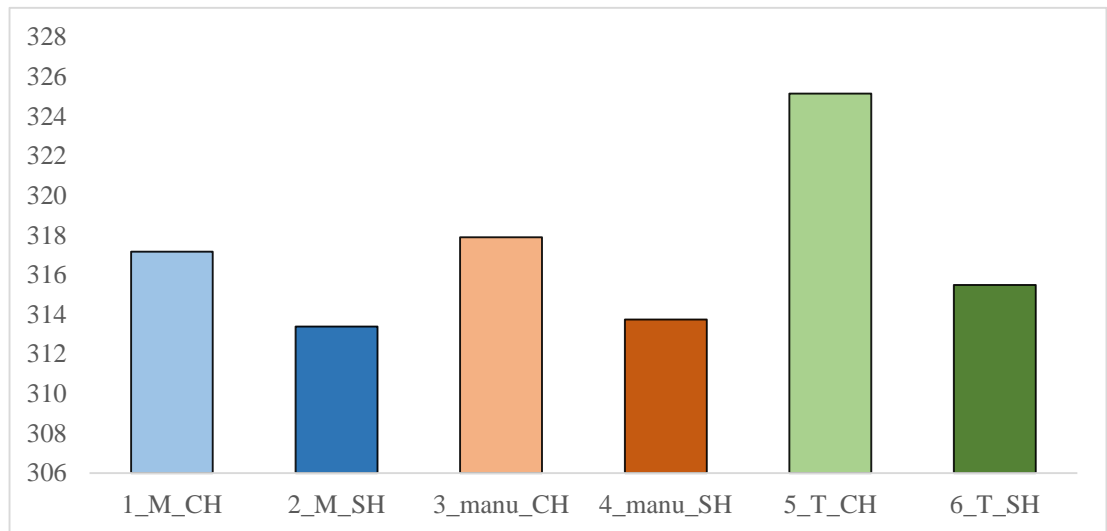
**Figura 6.** Distribución del número de granos entre Tratamientos.



**Figura 7.** Promedio de numero de granos por mazorca entre bloques.



El análisis promedio de número de granos que se representa en la figura 8, evidencia gráficamente que el tratamiento testigo con hojas posee una diferencia evidente, pero estadísticamente esta diferencia no es significativa. Se puede concluir así que, si el testigo posee mayor número de granos, por lo cual no es necesario utilizar mecanismos alternos de polinización artificiales, debido a que se presenta un aumento de costos de producción directo, sin recibir un beneficio diferencial significativo, en el número de granos como objetivo clave de la investigación.



**Figura 8.** Promedio de número de granos por mazorca

El análisis de la varianza de rendimiento (tabla 10) de la figura 9, presenta diferencia significativa en los tratamientos que no se realizaron actividades de deshoje, lo que da como resultado, mayor cantidad de kilos por hectárea; es importante aclarar que, aunque se presentó mayores rendimientos, el número de granos permaneció constante comparado con los tratamientos sin hojas. Se evidencia que no es necesario realizar el proceso de deshoje, ya que dicha labor, no mejora los rendimientos en la producción de semilla.

**Tabla 9.** Datos del experimento para rendimiento en producción de maíz (kg/ha).

Tratamiento	Bloque			Promedio
	1	2	3	
1_M_CH	4643,0	4250,0	3883,7	<b>4258,9</b>
2_M_SH	3779,3	4357,9	3681,1	<b>3939,4</b>
3_manu_CH	4483,5	4261,4	4252,5	<b>4332,5</b>
4_manu_SH	4115,0	3892,9	3514,8	<b>3840,9</b>
5_T_CH	4902,9	4548,9	3850,8	<b>4434,2</b>
6_T_SH	4187,8	3894,9	3552,9	<b>3878,5</b>
<b>Promedio</b>	<b>4351,9</b>	<b>4201,0</b>	<b>3789,3</b>	<b>4114,1</b>

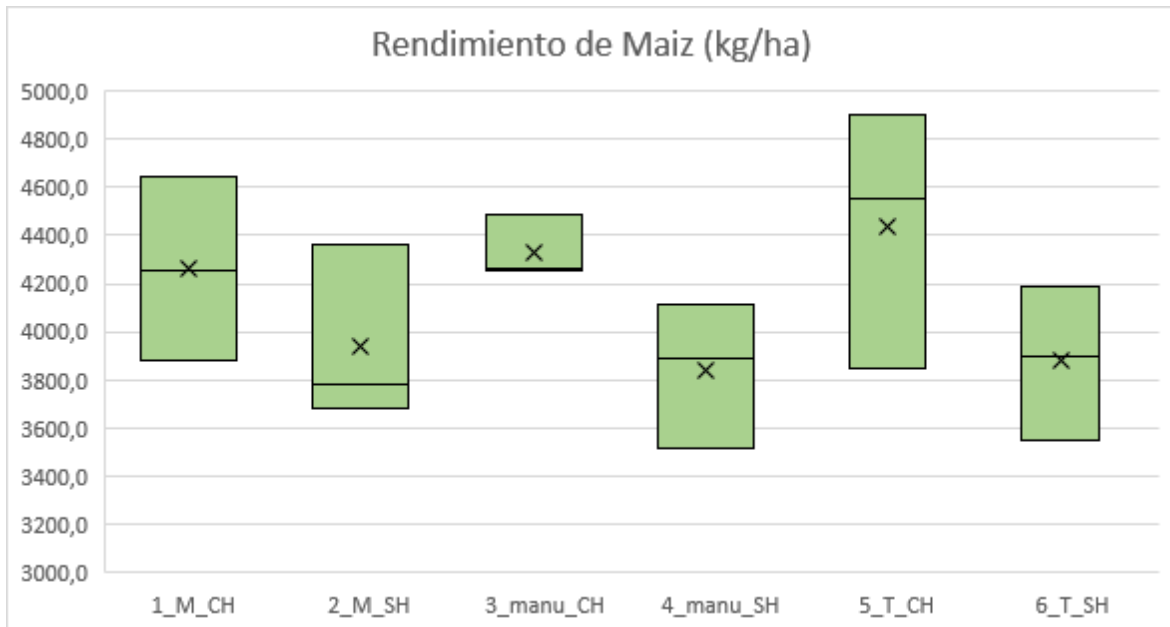
**Tabla 10.** Análisis de varianza rendimiento en producción de maíz.

<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
1_M_CH	3	12776,8	4258,9	144176,3
2_M_SH	3	11818,3	3939,4	133721,3
3_manu_CH	3	12997,4	4332,5	17133,0
4_manu_SH	3	11522,6	3840,9	92077,3
5_T_CH	3	13302,6	4434,2	286603,6
6_T_SH	3	11635,6	3878,5	100993,8

Bloque 1	6	26111,5	4351,9	163335,2
Bloque 2	6	25206,0	4201,0	68057,0
Bloque 3	6	22735,8	3789,3	74035,3

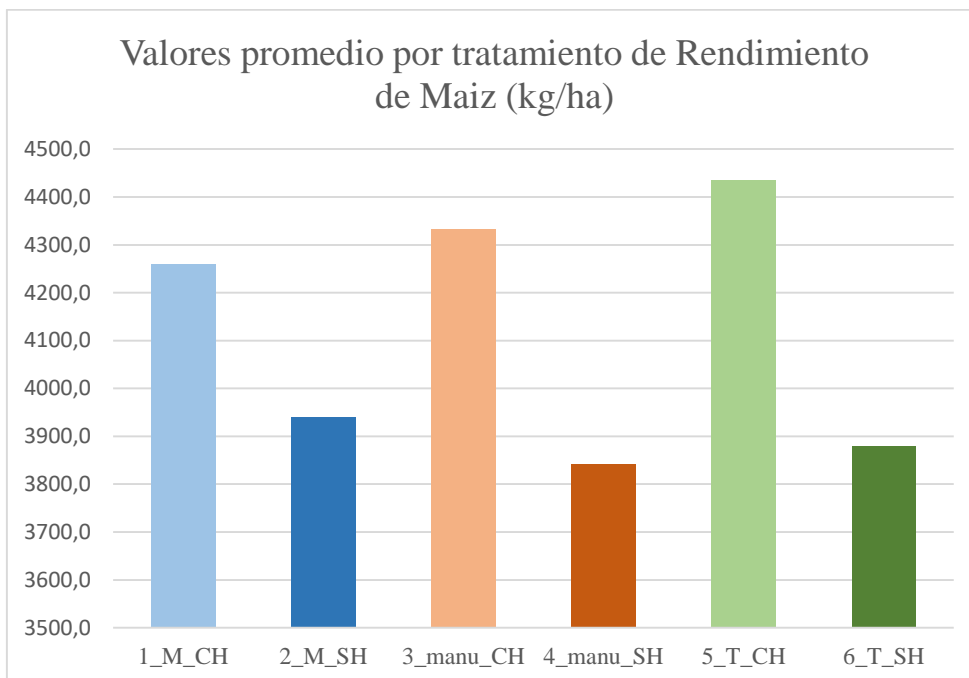
**Tabla 11.** Interpretación de los resultados de varianza de rendimiento en producción de maíz.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>Interpretación</i>
Tratamiento	995351,43	5	199070,286	3,743	0,036	3,326	SI existe diferencia significativa entre tratamiento
Bloques	1017624,51	2	508812,254	9,568	0,005	4,103	SI existe diferencia significativa entre bloques
Error	531785,924	10	53178,592				
Total	2544761,86	17					



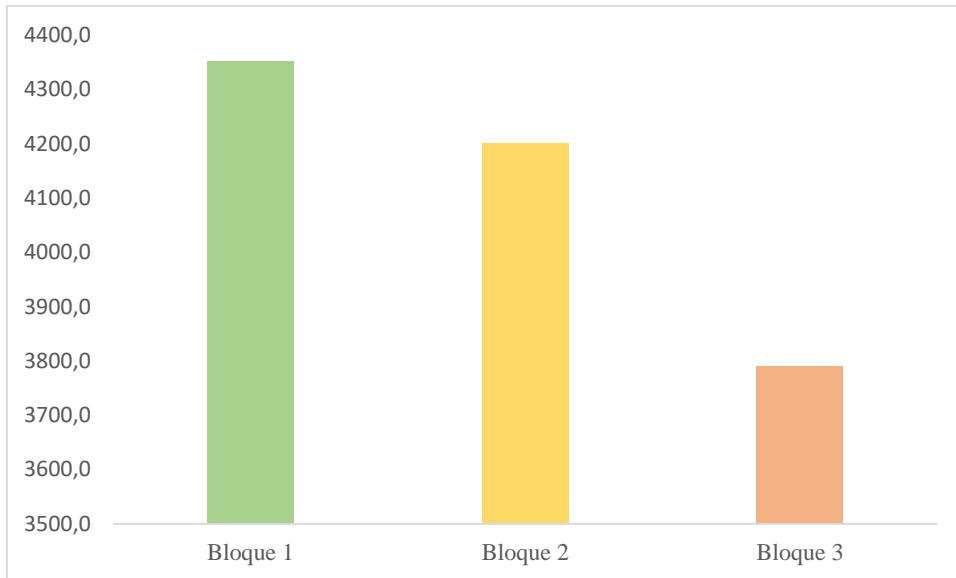
**Figura 9.** Distribución del rendimiento (Kg/ha) entre los tratamientos

En la figura 10 se observa, que los tratamientos con hojas obtuvieron mayores rendimientos de producción, comparados con los tratamientos que se realizó el deshoje, de acuerdo con los resultados podemos decir que, la actividad de deshoje no es necesaria para la producción de semilla de maíz si la velocidad del viento promedio es superior a 7 Km/hora, velocidad registrada en la estación meteorológica del Centro agropecuario en la etapa de polinización.



**Figura 10.** Distribución promedio de los rendimientos (Kg/ha) por tratamiento.

El rendimiento de la producción, que se representa en la figura 11, indica que existe una diferencia significativa entre los bloques; el bloque 1 tiene el mejor rendimiento con 4351 kg/ha y el bloque 3 tiene el menor rendimiento de 3789 kg/ha, pero dicha diferencia significativa entre bloques, se debe a factores externos, entre las posibles variables están: posición del bloque frente a la dirección del viento, condiciones físicas del suelo, etc. La dirección del viento favorece el tránsito del polen desde el cultivo emisor hacia las flores femeninas de las plantas receptoras. Es así como el número de granos cuajados por espigas evaluadas se incrementó en el sentido de los vientos predominantes. Valores inferiores a los 97m se presentan efectos positivos en la polinización eólica (Sauthier & Castaño, 2004).



**Figura 11.** Distribución promedio de los rendimientos (Kg/ha) por Bloques.

## Conclusiones

Las utilizaciones de mecanismos artificiales alternos de polinización no son necesarios de implementar, sí en la etapa de polinización tenemos velocidades del viento superiores a 7 km/hora.

Con base a los resultados estadísticos se determinó que no es recomendable ejecutar labores de polinización artificial, debido a que no se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos indicados en el diseño experimental.

De acuerdo con los análisis estadísticos obtenidos los rendimientos fueron mayores en los tratamientos que no se realizaron actividades de deshoje, obteniendo mayor cantidad de Toneladas por hectárea; es importante aclarar que, aunque se presentó mayores rendimientos, el número de granos permaneció constante, siendo el número de granos el de mayor importancia en la producción de semillas.

La aplicación de mecanismos artificiales de polinización con vientos superiores a 7 km/hora no son necesarios e infiere directamente en el aumento en los costos de producción por hectárea, siendo un costo adicional que se puede evitar.

### **Recomendaciones**

En la multiplicación de semilla híbrida FNC 8134, se debe sincronizar la polinización con las épocas del año donde la velocidad del viento es mayor, con el fin de disminuir los costos en la implementación de mecanismos de polinización artificial.

El rendimiento en las plantas que no se deshojaron fue mayor con respecto a las que si se les realizó la labor del deshoje. Se recomienda evaluar si existe relación entre el rendimiento y el vigor de las plantas obtenidas a partir de estas semillas.

Existe una relación directa entre la polinización y la velocidad del viento, se recomienda medir la velocidad del viento en las etapas de polinización para determinar si es necesario utilizar mecanismos artificiales de polinización.



## **Agradecimientos**

A Dios por permitir terminar nuestros estudios

A nuestra familia por el apoyo y motivación durante toda la etapa académica

A nuestro director Leonardo Alvarez Rios, por su comprensión, apoyo, paciencia, confianza, conocimientos; estamos inmensamente agradecidos.

A Clever Becerra por sus conocimiento y apoyo

A Jennifer López por sus conocimiento y apoyo

A Gustavo Lemos por su apoyo, confianza, conocimientos

A mis tutores de la ECAPMA por todos los conocimientos

A la universidad que siempre nos dio su bienvenida con excelentes tutores regalándonos todos sus conocimientos, oportunidades, y bases.

### Referencias bibliográficas

- Acosta, R (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación el maíz en Cuba.
- Aylor, d. e., n. p. s. a. e. j. s. (2003). An aerobiological framework for assessing cross-pollination in maize. *Agricultural and Forest Meteorology*, 119, 111–129.
- Baltazar, B., J. Sánchez, L. C. A. J. B. S. (2005). Pollination between maize and teosinte: an important determinant of gene flow in México. *Theoretical and Applied Genetic*, 110, 519–522.
- Bannert, M., & Stamp, P. (2007). Cross-pollination of maize at long distance. *Europ. J. Agron*, 27, 44–51.
- CIMMYT. (1994). *World maize facts and trends*.
- Coll, H. A. y Godínez, L. (2003). *La agricultura en México: un atlas en blanco y negro*.
- FAO. (1993). *El maíz en la nutrición humana*.
- Fassio, A., Carriquiry A., Tojo, C., Romero, R., (1998) Maíz: aspectos sobre fenología
- FENALCE. (2007). *Avances en fitomejoramiento del maíz. Colombia*.
- Heck, M. I. (2006). *Caracterización agromorfológica y de calidad nutricional de poblaciones locales de maíz de la provincia de Misiones, Argentina*. Universidad de Buenos Aires.
- MacRobert, J. F., Setimela, P., Gethi, J., & Regasa, M. W. (2015). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido*.
- Messeguer, J. (2003). Gene flow assessment in transgenic plants. *Plant Cell Tiss*, 73, 201–212.
- Ortas, L (2008). El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales.
- Ortiz, E., Carballo, A., Muñoz, A., & González, F. (2010). Efecto de la dispersión de polen

en la producción de semilla de maíz, en Texcoco, México. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 289–297.

Pantoja, A., Pardo, A. S., García, A., Saénz, A., & Rojas, F. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe*.

Programa de Maíz CIMMYT. (1999). *Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de polinización libre*.

Redacción económica (02 de julio de 2012). Colombia produce más maíz. El Universal.

Reyes, P. C. (1990). El maíz y su cultivo. AGT Editor, S. A. México

Robayo, A., & Galindo, M. (2014). Análisis de la probabilidad de dispersión de polen de maíz genéticamente modificado usando el modelo HYSPLIT. *Agrociencia*, 48.

Rodríguez, D. J. (2016). *Más sobre el proceso de polinización en el Maíz*.

Sauthier, M., & Castaño, F. (2004). Dispersión del polen en un cultivo de maíz. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 15, 229–246.

Urbina, R (2015). Control de Calidad en la Producción ‘Tradicional’ y ‘No Convencional’ de Semilla de Variedades de Maíz (*Zea mays* L.) de Polinización Libre

Vallejo, F. A., & Estrada, E. I. (2002). *Mejoramiento genético de plantas*.

Yzarra, T., Trebejo, I., Noriega, V. (2010). Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú.