



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

VARIACIÓN CAUSADA POR EL ORIGEN DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA DEL HIBRIDO DE MAÍZ H-520, PARA LA ZONA TROPICAL DE VERACRUZ.

JESÚS JUÁREZ SAN JUAN

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2023



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Variación causada por el origen de producción de semilla del híbrido de maíz H-520, para la zona tropical de Veracruz**, realizada por el (la) estudiante: **Jesús Juárez San Juan**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

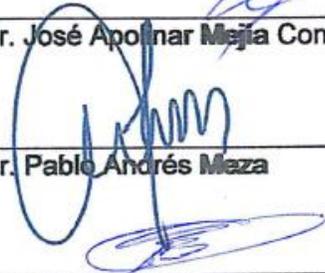
MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)


Dr. José Apolinar Mejía Contreras

CO-DIRECTOR (A)


Dr. Pablo Andrés Meza

ASESOR (A)


M.C. Juan Celestino Molina Moreno

ASESOR (A)


Dr. Mauro Sierra Macías

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, marzo de 2023

VARIACIÓN CAUSADA POR EL ORIGEN DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA DEL HIBRIDO DE MAÍZ H-520, PARA LA ZONA TROPICAL DE VERACRUZ.

Jesús Juárez San Juan, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023

RESUMEN

Dentro de la diversidad de híbridos tropicales de maíz (*Zea mays* L.) en México, durante los últimos 10 años, se ha promovido la producción y distribución del híbrido de maíz H-520, con alto potencial de rendimiento y adaptabilidad en el trópico de México. Las empresas o grupos organizados que producen la semilla certificada, son un eslabón importante en la adopción y uso comercial de genotipos mejorados. Por lo cual una adecuada caracterización permitirá saber si se mantiene vigente la identidad de este híbrido por diversas empresas, para así conseguir una operación exitosa de los esquemas nacionales de certificación de semillas y su control en el comercio de semillas. Los objetivos de este estudio fueron realizar una caracterización fenotípica y agronómica de una muestra de cinco empresas (orígenes) que desarrollan y comercializan este híbrido en la zona húmeda tropical del estado de Veracruz, de INIFAP, Terra Semillas S.A., Semillas Iyadilpro S.A. de C.V., Maíces del Trópico, Semillas la Ejidal y registrar información sobre las características que describen la variación predominante entre los orígenes en estudio. Durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2021 se establecieron dos experimentos en Cotaxtla, y Piedras Negras en el estado de Veracruz con cinco empresas (orígenes) representativas del estado, mediante un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial. Con las 19 variables cuantitativas y cuatro cualitativas evaluadas se realizó un análisis de varianza y con base en sus coeficientes de correlación, ejecutar análisis multivariados. El análisis de varianza indicó la existencia de diferencias significativas entre orígenes para casi todas las variables. La dispersión de accesiones mostró un continuo que se distribuye a lo largo y ancho del plano cartesiano formado por los dos primeros componentes principales, donde influyen en mayor grado las variables rendimiento, hojas por planta, número de ramas laterales en la espiga principal, floración masculina, peso hectolitrico, índice de flotación, ancho de semilla, grosor de semilla, coloración de las glumas, coloración en la base de las glumas, diámetro de mazorca. Ninguna de las características estuvo afectada por el ambiente pues fueron las más apropiadas para la agrupación. Los resultados confirmaron los agrupamientos de las variables en los orígenes, así INIFAP y Semillas la Ejidal fueron los más parecidos en ambos ambientes. No hay reportes de estudios previos; pero los datos obtenidos son precisos en la definición de los grupos y de las interrelaciones de los orígenes.

Palabras clave: *Zea mays*, adaptabilidad, caracterización varietal, genotipos, híbrido.

**VARIATION CAUSED BY THE ORIGIN OF SEED PRODUCTION OF THE CORN
HYBRID H-520, FOR THE TROPICAL ZONE OF VERACRUZ.**

**Jesús Juárez San Juan, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2023**

ABSTRACT

Within the diversity of tropical maize hybrids (*Zea mays* L.) in Mexico, in the last 10 years, the production and distribution of the maize hybrid H-520 has been promoted, with high yield potential and adaptability in the tropics of Mexico. The companies or organized groups that produce certified seed are an important link in the adoption and commercial use of improved genotypes. Therefore, an adequate characterization will allow to know if the identity of this hybrid is maintained by various companies, in order to achieve a successful operation of the national seed certification schemes and their control in the seed trade. The objectives of this study were to perform a phenotypic and agronomic characterization in a sample of five companies (origins) that develop and market this hybrid in the tropical humid zone off the state of Veracruz, from INIFAP, Terra Semillas S.A., Semillas Iyadilpro S.A. de C.V., Maíces del Trópico, Semillas la Ejidal and recorded information on the characteristics that describe the predominant variation among the origins under study. During the spring-summer agricultural cycle of 2021, two experiments were established in Cotaxtla and Piedras Negras in the state of Veracruz with five companies (origins) representative of the state, through a randomized complete block design with factorial arrangement. With the 19 quantitative and four qualitative variables measured, an analysis of variance was performed and based on their correlation coefficients, to perform multivariate analyses. The analysis of variance indicated the existence of significant differences among origins for almost all the variables. The dispersion of accessions showed a continuum that is distributed throughout the length and breadth of the Cartesian plane formed by the first two main components, where the variables yield, leaves per plant, number of lateral branches on the main spike, flowering had a greater influence. flowering, hectoliter weight, flotation index, seed width, seed thickness, glume coloration, glume base coloration, ear diameter. None of the characteristics were affected by the environment, since they were the most appropriate for grouping. The results confirmed the grouping of the variables in the origins, thus INIFAP and Semillas la Ejidal were the most similar in both environments. There were no reports of previous studies; but those present are precise in the definition of the groups and the interrelationships of the origins.

Key words: *Zea mays*, adaptability, varietal characterization, genotypes, hybrid.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados campus Montecillo, en forma particular al Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, por brindarme la oportunidad de esta superación profesional.

Al Dr. José Apolinar Mejía Contreras, por la dirección, asesoramiento de mis estudios y guía en el desarrollo de mi investigación, así como también por el apoyo para facilitar la realización de este proyecto.

Con especial agradecimiento a mi director externo el Dr. Pablo Andrés Meza, por su apoyo para que continuara estudiando, es una de las personas que admiro por su gran dedicación a la investigación.

Dr. Mauro Sierra Macias, por todo el apoyo brindado en la logística y recolección de datos en campo, pues su experiencia fue parte fundamental en este proyecto.

Al M.C. Juan Celestino Molina Moreno quien compartió conmigo sus conocimientos mediante los cuales logré concluir mis estudios.

A la Dra. María Elena Ramírez, por su apoyo moral y opiniones respecto a esta tesis.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, a través del Campo Experimental Cotaxtla, por los trabajos institucionales colaborativos y el apoyo de sus trabajadores que han contribuido a mi formación en la investigación agronómica.

DEDICATORIA

A mi esposa:

Anaid, por siempre estar a mi lado y ayudarme en todo momento a recorrer este camino.

A mis hijos:

Jesús y Joel, son el motivo por el cual he llegado hasta aquí y siempre me recuerdan que no importa donde estemos, mientras sea juntos.

A mis padres:

Moisés (†) e Imelda, por darme su apoyo moral y ayudarme en esta meta.

A mis suegros:

La Sra. Lulu y el Sr. José por el entusiasmo, apoyo y estímulo en mi superación.

A mis hermanos:

Moisés y Berenice por su apoyo moral.

Y a todas aquellas personas que de alguna forma intervinieron en la realización de esta tesis, les digo gracias de corazón.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTAS DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
2.3 Hipótesis	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Historia del cultivo de maíz	4
3.1.1 Importancia del cultivo de maíz	5
3.2 Importancia de los híbridos trilineales.....	5
3.2.1 Híbrido H-520.....	6
3.2.2 Producción del H-520	9
3.2.3 Incremento de las líneas progenitoras del H-520	9
3.3 Descripción varietal.....	10
3.4 Mantenimiento varietal.....	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Población y muestra.....	14

4.1.1. Descripción del área de estudio.....	14
4.1.2. Germoplasma a utilizar	14
4.1.3. Diseño de campo	15
4.1.4 Diseño estadístico.....	15
4.2 Manejo del experimento.....	16
4.2.1 Siembra y fertilización.....	16
4.2.2 Densidad de siembra	16
4.2.3 Cosecha.....	17
4.3. Recolección de datos en campo	17
4.3.1. Caracteres a medir	17
4.4. Pruebas de laboratorio en semilla.....	18
4.4.1. Prueba de germinación.....	18
4.4.2 Peso seco de plúmula y radícula	19
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1. Prueba de germinación estándar	20
5.2. Análisis de vigor	21
5.3. Caracteres cuantitativos y cualitativos	22
5.3.1. Análisis de la varianza (ANDEVA)	22
5.3.2. Densidades entre Ambientes.....	25
5.3.3. Análisis de componentes principales	27
VI. CONCLUSIÓN	36
VII. LITERATURA CITADA.....	38

LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. Esquema del proceso de obtención del híbrido de maíz H-520 (Sierra et al., 2008).....	8
Cuadro 2. Porcentaje de los orígenes en la prueba de germinación estándar.....	21
Cuadro 3. Peso de plúmula y radícula, longitud de plúmula y radícula de la semilla.....	22
Cuadro 4. Comportamiento de los orígenes en las diferentes variables de semilla.....	22
Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de ambientes de las variables.....	24
Cuadro 6. Comportamiento medio de las variables evaluadas en diferentes densidades y arreglos topológicos.....	26
Cuadro 7. Resultado del análisis de componentes principales de 23 características de 5 orígenes del híbrido de maíz H-520. Las variables con mayor peso están en negritas.....	28

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Coloración de glumas y coloración en la base de las glumas del origen de INIFAP (a) y Semillas la Ejidal (b)..... 30**
- Figura 2. Coloración de anteras de los orígenes Maíces Trópicos (a), Terra Semillas (b) e Iyadilpro (c)..... 32**
- Figura 3. Dispersión de cinco orígenes en dos ambientes del híbrido de maíz H-520 con base en los dos primeros componentes principales. INIFAP; S. Ejidal = Semillas la Ejidal; Terra Sem. = Terra Semillas; Iyadilpro; Maíces Trop. = Maíces Trópicos; Cotaxtla; PN = Piedras Negras; REND = rendimiento, HPP = hojas por planta, NRLE = número de ramas laterales en la espiga, FM = floración masculina, FF = floración femenina, LEP = longitud de la espiga principal, NHPM = número de hileras por mazorca, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, LM = longitud de mazorca, DM = diámetro de mazorca, PG = peso de grano, P1000 = peso de mil semillas, PPP = peso por parcela, LSEM = longitud de semilla, ASEM = ancho de semilla, GROSOR = grosor de semilla, PH = peso hectolitrico, INDFLOT = índice de flotación. 34**
- Figura 4. Coloración de estigmas Terra Semillas (a), Maíces Trópicos (b) e Iyadilpro (c)..... 35**
- Figura 5. Color de estigmas INIFAP (a), Semillas la Ejidal (b)..... 35**

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes en el mundo. En 2018, el maíz fue cultivado en aproximadamente 192 millones de hectáreas con un promedio de rendimiento de 5 600 kg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2020). En México, aproximadamente 5.54 millones de hectáreas son cultivadas bajo condiciones de temporal y 1.58 millones son cultivadas bajo condiciones de riego. En estos escenarios se obtiene un volumen de producción de 27.2 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 3 815 kg ha⁻¹ (SIAP, 2019). No obstante, existe un déficit de este grano y cada año se importan entre 15 y 17 millones de toneladas (FAS-USDA, 2020, OCDE/FAO, 2019).

En el área tropical de México, el desarrollo del mejoramiento genético del maíz fue iniciado por los organismos antecesores del actual Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) como el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y la Oficina de Estudios Especiales (OEE). Los progresos del mejoramiento genético tuvieron éxito, ya que durante el periodo de 1950 a 1990 se liberaron más de 16 variedades de polinización libre e híbridos tropicales de maíz que se comercializaron entre los productores. Asimismo, a partir del año 2000, el Programa de Mejoramiento Genético del Trópico inició la formación de cruza trilineales, mediante esta estrategia, se logró liberar a los híbridos H-518, H-520 (Sierra *et al.*, 2004), H-564C (Sierra *et al.*, 2011) y recientemente, los híbridos H-567 (Sierra *et al.*, 2017) y H-568 (Sierra *et al.*, 2018). Particularmente el híbrido H-520 ha tenido muy buena aceptación por parte de los productores del área tropical del sureste mexicano. En los últimos años, se ha tenido un impacto de 84 940 hectáreas sembradas con el H-520, que representan un beneficio adicional de \$ 476.51 millones y se generan 2 548 200 jornales (Sierra *et*

al., 2011). Las empresas o grupos organizados que producen la semilla certificada, son un eslabón importante en la adopción y uso comercial de genotipos mejorados; particularmente, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) produce semilla de alto registro en sus categorías básica y registrada de los progenitores, siendo las más utilizadas por empresas productoras de semilla certificada, misma que es sembrada por los agricultores de maíz en el trópico mexicano. Sin embargo, durante el proceso de producción de semilla la calidad genética es muy importante, y por ello debe cuidarse que los materiales no pierdan las características deseables logradas por el fitomejorador.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo General

- La caracterización de los diferentes orígenes de producción para la conservación de la identidad genética del híbrido tropical de maíz H-520.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización varietal a través de sus descriptores morfológicos en distintas muestras de diferentes orígenes del híbrido H-520.
- Determinar el tamaño de muestra apropiado de la población que garanticen un alto grado de pureza genética.
- Detectar cuales son los factores que provocan la variación en la producción de semilla del H-520.

2.3 Hipótesis

- Los descriptores morfológicos no presentan diferencias en ningún ambiente de las distintas empresas que producen la semilla H-520 y por otro lado el H-520, producido por distintas empresas, presenta diferencias en sus descriptores fenotípicos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Historia del cultivo de maíz

México es centro de origen del maíz (*Zea mays* L.) ya que tres evidencias lo demuestran: 1) los restos arqueológicos del maíz más antiguo hasta el momento se encuentran en territorio nacional, 2) el teosintle, que es el posible ancestro del maíz; se encuentra en México de forma natural y 3) la mayor diversidad genética del maíz está representada por las variedades nativas de México. Otro dato importante es la domesticación del maíz que fue en el Río Balsas hace unos 6,000 años (Vielle, 2007). Una vez que se realizó la domesticación del maíz en el sur de México, se extendió por el continente americano hace aproximadamente unos 10,000 años (Matsuoka *et al.*, 2012). El hecho de que el maíz haya quedado en primer lugar en producción en los últimos 20 años, se debe al éxito en el mejoramiento genético del maíz, principalmente por el aprovechamiento del fenómeno de la heterosis en esta especie. Sin embargo, los incrementos en la productividad han sido variables en diferentes países, en algunos países, el rendimiento se ha incrementado más rápido que en otros (Tiessen, 2012). Por su capacidad de diversidad genética, el maíz es uno de los cultivos más importantes en el mundo. Esto también explica porque el maíz puede crecer desde el nivel del mar hasta alrededor de 3500 msnm, en suelos ácidos o en suelos alcalinos, en temporal (con estrés hídrico), en periodos cortos y largos de madurez y la capacidad de soportar diferentes plagas locales (Nadal, 2006).

3.1.1 Importancia del cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.), es uno de los cereales más importantes en el mundo desde el punto de vista social, político, cultural, económico y alimenticio, a nivel mundial se cosechan aproximadamente 205 millones de ha, con un rendimiento promedio de 5,878 kg ha⁻¹ y un volumen de producción 1,210,235,135 millones de ton (FAOSTAT, 2021). En México, aproximadamente 5.54 millones de hectáreas son cultivadas bajo condiciones de temporal y 1.58 millones son cultivadas bajo condiciones de riego (Espinosa *et al.*, 2021). Estas áreas, son sembradas principalmente con híbridos y variedades mejoradas de polinización libre (SNICS, 2022). En estos escenarios se obtiene un volumen de producción de 27.2 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 3,815 kg ha⁻¹ (SIAP, 2022). No obstante, existe un déficit de este grano y cada año se importan entre 15 y 17 millones de toneladas (OCDE/FAO, 2019; FAS-USDA, 2020; Espinosa *et al.*, 2021).

3.2 Importancia de los híbridos trilineales

Los híbridos trilineales, conformados por la combinación de una crusa simple que se cruza con una tercera línea funcionando como macho, permiten aprovechar las ventajas de la heterosis en la producción de maíz y constituyen una alternativa de fácil manejo en la producción de semilla, ya que generalmente se utiliza como progenitor hembra la crusa simple de alto rendimiento (Sierra *et al.*, 2005; Sierra *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 1998). En 2004, el híbrido de maíz H-520 se registró ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) con el número: 1648-MAZ 807- 140404/C.

3.2.1 Híbrido H-520

Este híbrido presenta alto potencial de rendimiento y adaptabilidad en la región tropical de México; sin embargo, uno de los atributos más importantes de este híbrido es que sus progenitores tienen buen rendimiento, facilidad y rentabilidad en la producción comercial de semilla, en virtud de que es un híbrido trilineal que usa como progenitor hembra a una cruce simple de alto rendimiento (Sierra *et al.*, 2008).

El rendimiento y la rentabilidad en la producción permiten que la semilla de este híbrido sea producida en pequeña o gran escala; por empresas grandes o pequeñas, por productores o grupos de productores organizados, y que en la medida en que exista mayor disponibilidad, se puede lograr una mejor adopción por los agricultores (Sierra *et al.*, 2008). La etapa final del mejoramiento genético de una especie es la evaluación y selección de las variedades con características deseables y con ello llegar a la liberación de un nuevo material, es en esta etapa cuando termina la responsabilidad del fitomejorador y comienza la responsabilidad del especialista de semillas. En esta etapa es cuando se corre el riesgo de la pérdida de la identidad varietal por los incrementos sucesivos de semilla, especialmente en los materiales de polinización cruzada. Existen algunos factores que pueden causar esta pérdida genética, entre ellos el desconocimiento por parte del productor de semilla de cuando un individuo está fuera de tipo o es característico de la variedad (Sierra *et al.*, 2008).

En cuanto a las características agronómicas, durante el ciclo primavera-verano bajo condiciones de temporal, el híbrido H-520 es de altura de planta y mazorca intermedia con 228 y 139 cm para cada característica, respectivamente, con 54 días a floración

masculina y 53 a floración femenina. Alcanza la madurez fisiológica entre 90 y 100 días, la cosecha puede efectuarse de 110 a 120 días. Es tolerante al acame, con buen aspecto y sanidad de planta y mazorca, excelente cobertura de mazorca, con 14 hileras y grano blanco semidentado (Sierra *et al.*, 2008).

Según Sierra *et al.*, (2008), es tolerante a la enfermedad conocida como “achaparramiento”, enfermedad que durante los últimos cinco años ha cobrado importancia sobre todo en áreas maiceras de las zonas centro y sur del estado de Veracruz. H-520 registró porcentajes más bajos de plantas con síntomas, menor severidad y porcentajes más bajos de mazorcas con daño de “achaparramiento”. Por lo que se refiere a las características de calidad el H-520 se recomienda para las industrias de la masa y la tortilla y la de harina nixtamalizada, ya que es de grano blanco (60% de índice de reflectancia) y tamaño mediano (300 granos/100 gramos), textura dura (en promedio 30% de índice de flotación) y una densidad de 77 kg/hL presenta proporciones adecuadas de pedicelo (1.4%), pericarpio (5.5%) y germen (10.7%). En el proceso de nixtamalización registra valores medios de: 42% de humedad en nixtamal, 3.3% de sólidos desprendidos y 58% de pericarpio retenido. Por cada kg de maíz nixtamalizado, proporciona 1.56 kg de tortillas, las cuales tienen una humedad de 43%, color crema brillante (87%), son elásticas (4.5 mm) y suaves (235 gf). Así mismo, son identificadas por las especificaciones de la SE (2002) norma NMX-FF-054-2001, para los maíces destinados a la elaboración de tortillas (Sierra *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Esquema del proceso de obtención del híbrido de maíz H-520 (Sierra *et al.*, 2008).

Año	Descripción de procedimiento
1987	Prueba de aptitud combinatoria de líneas endogámicas de diferentes variedades y poblaciones usando como probadores las líneas T11 y T12 que forman el patrón heterótico tropical H-513
1988-1992	Evaluación de híbridos simples entre líneas, con alta combinación (T11 y T12)
1993-1994	Definición y registro del H-513
1992-1996	Identificación de LT156 como un progenitor de alta ACG
1998-2004	Evaluación de híbridos trilineales de maíz entre H-513 y líneas endogámicas sobresalientes, en el trópico húmedo de México
2002-2005	Validación de H-520 en terrenos de productores
2003-2004	Caracterización del híbrido H-520
2004	Registro ante el SNICS y liberación oficial del H-520

3.2.2 Producción del H-520

Para garantizar la pureza genética, la semilla del híbrido H-520, y los progenitores, debe producirse en lotes aislados, separados de otros terrenos sembrados con maíz al menos 200 m para obtener semilla certificada y 300 m para semilla registrada, o bien, con 20 días de diferencia en la fecha de siembra, de manera que no haya coincidencia de floración del lote de producción de semilla con otros lotes vecinos (Sierra *et al.*, 2008).

La siembra de los progenitores hembra y macho debe realizarse de manera simultánea en una relación hembra:macho 4:2, o bien, 2:1, para lograr buena polinización. Para la obtención de H-513 como hembra para la formación del H-520, debe utilizarse como hembra la línea LT154 y como macho la LT155, en una relación hembra:macho de 4:2 o bien 2:1, sembrando la hembra 7 días antes durante el ciclo otoño-invierno y 5 días antes durante primavera-verano con relación al macho. Las espigas de los progenitores hembra deberán ser eliminadas antes de la emisión de polen (Sierra *et al.*, 2008).

3.2.3 Incremento de las líneas progenitoras del H-520

Para los incrementos de semilla de las líneas progenitoras LT154, LT155 y LT156, se recomienda usar una muestra mínima de 50 plantas típicas de cada línea en incrementos planta a planta; el incremento de semilla básica puede hacerse en lotes aislados de polinización libre en una superficie de al menos 1000 m², teniendo cuidado en los aspectos de aislamientos y desmezcles sugeridos para la conservación y mantenimiento de la identidad varietal. La semilla de estos materiales puede ser producida en primavera-verano u otoño-invierno. La siembra de otoño-invierno permite un mejor control de humedad en el suelo y humedad relativa, pero sobre todo la oportunidad de cosecha,

secado y comercialización durante el ciclo primavera-verano. Con relación a la fertilización, se recomienda aplicar 20% adicional de nitrógeno recomendado para la producción de grano y 30 unidades de potasio (Sierra *et al.*, 2008).

La semilla de la categoría básica y registrada del H-520 se encuentra disponible en el Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz

3.3 Descripción varietal

La utilidad de una descripción varietal está en función de la precisión, de modo que puedan responder a los objetivos de los usuarios. En este sentido, la descripción varietal que se usa en el comercio de semillas es controlar la pureza genética y física de cada variedad que asegure su credibilidad. Algunos autores han señalado la importancia de caracterizar progenitores y variedades en diferentes ambientes, para cuantificar los componentes de variación en los descriptores, a la vez identificar aquellos más útiles por su estabilidad. Asimismo, una adecuada caracterización varietal permitirá una operación exitosa de los esquemas nacionales de certificación de semillas y su control en el comercio de semillas (Keefe y Draper, 1986; Rivas, 1988).

Para los estudios genéticos y evolutivos, que se realizan principalmente en los bancos de germoplasma, se precisan datos tomados con exactitud de muchas características botánicas. La descripción varietal empleada por los fitomejoradores con fines de promoción comercial, en cambio, sólo necesita realzar las características de interés agronómico y comercial que tienen importancia para el agricultor (Muños, 1993).

La descripción varietal que se utiliza en la industria de semillas, cuyos objetivos son: controlar la pureza genética y física de cada variedad para infundir credibilidad en el

comercio de semillas, permitiendo efectuar además un adecuado control de calidad. Esta descripción se debe hacer con precisión para evitar confusiones o inseguridad tanto a las personas involucradas en la producción de semillas como a las responsables de supervisar y controlar su pureza (Muños, 1993).

Esta metodología es importante para mantener la pureza genética durante varios ciclos consecutivos de multiplicación y, en particular, cuando el progreso en el mejoramiento genético alcanza un nivel en el cual las diferencias entre las variedades son cada vez más sutiles, o cuando se trata de variedades nuevas con las cuales no están muy familiarizados los encargados de mantener y controlar la pureza genética y básica de las semillas (Muños, 1993)

Cuando se ha formado una nueva variedad y se ha sometido a una evaluación, el primer punto que se tiene que establecer es su identidad para diferenciar las características que las distinguen de las variedades ya existentes (Douglas, 1991).

Por lo anterior, el realizar la descripción varietal sobre el fenotipo el cual es función de los efectos del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo-ambiente es importante cada efecto para evitar cambios en la identidad genética (CIAT, 1983).

3.4 Mantenimiento varietal

El mantenimiento varietal, constituye el paso posterior a la descripción. En este punto los caracteres de la variedad y la variación existente deben ser fijos, pues es la forma de perpetuación de la pureza genética de un material, como base de la futura multiplicación y producción de una variedad (Laverack, 1994). Para asegurar la pureza genética de los híbridos o variedades, es esencial un buen método de mantenimiento varietal. El rasgo

esencial de cada uno de los métodos es que no ocurran cambios genéticos durante el mantenimiento y así se asegurará la pureza genética del material (Sneep y Hendriksen, 1979).

Sin embargo, los requerimientos para el manejo de materiales genéticos pueden ser diferentes. Así, es importante distinguir entre el mantenimiento de una variedad y el mejoramiento de la misma. El primero se refiere a mantener la pureza varietal como ha sido descrita por el fitomejorador y el segundo al mejoramiento genético que conduce al establecimiento de una nueva variedad (Douglas, 1991).

El mantenimiento varietal se realiza debido a que las variedades degeneran en el transcurso del tiempo, perdiendo gran parte de las características genéticas que poseían inicialmente y por tanto pierden también características agronómicas. Muchas veces los factores ambientales adversos generan variaciones en las semillas que son fijados y transmitidos a través de la descendencia, también esto puede ocurrir por la acción desorganizada del hombre (CIMMYT, 1999). La alta variabilidad observada en algunos caracteres cuantitativos puede ser atribuida a la interacción genotipo-ambiente, de manera que ellos no constituyen parámetros fijos y estables, por lo cual deben ser tomados con cuidado para fines de mantenimiento de la identidad del material.

Los caracteres varietales deben contribuir a satisfacer tres funciones específicas. De acuerdo con la definición que da la Association of Official Seed Certifying Agencies (AOSCA), variedad es "una subdivisión de una clase que es diferente, uniforme y estable: diferente, en el sentido de que la variedad se puede identificar por una o más características morfológicas, físicas, o de otro tipo que la distinguen de las otras

variedades conocidas; uniforme, en el sentido de que se puede describir la variación de las características esenciales y típicas; y estable, por cuanto la variedad permanecerá sin cambios y ofrecerá un grado razonable de confiabilidad en sus características esenciales y típicas, y en su uniformidad cuando la variedad es producida o reconstruida según lo exigen sus diferentes categorías" (Muños, 1993).

El incremento de los caracteres de importancia económica que se logre en cada ciclo de selección estará en función de la variabilidad genética de la población bajo mejoramiento (Chávez, 1995). Tal variabilidad puede analizarse para estimar los parámetros genéticos de la población. La estimación de dichos parámetros es importante cuando la población se ha sometido a un proceso continuo de selección y se desea saber que tan efectiva ha sido ésta en producir cambios favorables en ella (Vargas *et al.*, 1982). Los estimadores de las varianzas genéticas pueden sesgarse por la interacción genotipo-ambiente, cuya varianza puede llegar a superar a las varianzas genéticas, y por ello las estimaciones deben hacerse en varios ambientes (Vargas *et al.*, 1982).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Población y muestra

4.1.1. Descripción del área de estudio

La investigación se condujo en dos localidades del estado de Veracruz. A) el primer ambiente de evaluación se estableció en el Campo Experimental Cotaxtla perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en la localidad de Medellín de Bravo, geográficamente a 18° 44' y 18° 59' LN, 96° 11' y 96° 32' LO y una altitud de 15 msnm. B) el segundo ambiente se localiza en la localidad de Piedras Negras perteneciente al Municipio de Tlalixcoyan y, se ubica geográficamente a una latitud de 18°46'23"LN y longitud 96°10'18"LO, la localidad se encuentra a una altura media de 20 metros sobre el nivel del mar; ambos municipios pertenecientes al Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, México.

4.1.2. Germoplasma a utilizar

El germoplasma utilizado en la presente investigación fue el híbrido trilineal de maíz tropical de grano blanco H-520, perteneciente a la raza tuxpeño generado en el Programa de Mejoramiento Genético del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP. Este híbrido está formado por las líneas LT154, LT155 y LT156. La línea macho LT156 cuenta con seis autofecundaciones. La línea LT154, posee cuatro ciclos de autofecundación y la LT155, presenta similar nivel de endogamia.

4.1.3. Diseño de campo

Se evaluaron muestras de diferentes orígenes: INIFAP (testigo), Terra Semillas S.A., Semillas Iyadilpro S.A. de C.V., Maíces del Trópico (empresa), Semillas la Ejidal (Hugo Utrera) en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, en donde se sembraron 4 surcos de 5 m de largo para cada tratamiento, cada unidad experimental fue de 10 plantas y los datos que se obtuvieron fueron de los dos surcos centrales, se añadieron dos densidades: 1) dos plantas cada 40 cm o una planta cada 20 cm (62 mil plantas por hectárea) , 2) una planta cada 15 cm o dos plantas cada 30 cm (85 mil plantas por hectárea).

4.1.4 Diseño estadístico

En un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial se evaluaron los cuatro tratamientos y un testigo, con tres repeticiones, con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varphi_{ij}$$

dónde: y_{ij} , variable de respuesta; μ , media general; τ_i , efecto de los tratamientos; β_j , efecto debido al bloque y φ_{ij} , variación residual. Además, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey con ($p < 0.05$).

Se realizó un análisis de varianza combinado de ambientes (ANDEVA) y un análisis de componentes principales por el método de la matriz de correlaciones. Utilizando los datos por experimento, se obtuvieron los parámetros estadísticos de la población de cada muestra: media, varianza, coeficiente de variación. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa SAS versión 9.4 e INFOSTAT versión 2019.

4.2 Manejo del experimento

4.2.1 Siembra y fertilización

La siembra se realizó de forma manual. En ambas localidades se aplicó riego rodado, la fertilización se realizó de la forma en que normalmente se ha hecho con 120 kg de N y 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹, se aplica todo el P₂O₅ y la mitad de N en la siembra, el resto del N se suministró en la segunda escarda; se dio un paso de cultivo a los 25 días después de la emergencia (dde) y se lleva a cabo el aporque a los 40 dde; para el control de maleza se aplicó atrazina que es un herbicida preemergente a razón de 1.0 kg ha⁻¹.

4.2.2 Densidad de siembra

En los dos ensayos los diseños utilizados fueron Bloques Completos al Azar (BCA) con tres repeticiones en parcelas de 4 surcos de 5 m de largo, separados a 0.8 m de distancia entre surco. El experimento se evaluó con dos densidades bajo dos arreglos topológicos: la primera fue una densidad de población de 62 500 plantas por hectárea depositando dos semillas cada 20 cm para dejar 1 planta por mata previo al atierre, es decir, una densidad de población de 62 500 plantas por hectárea y depositando tres semillas cada 40 cm para dejar 2 plantas por mata. La segunda densidad de población fue de 83 000 plantas por hectárea depositando dos semillas cada 15 cm para dejar 1 planta por mata previo al atierre, es decir, una densidad de población de 83 000 plantas por hectárea y depositando tres semillas cada 30 cm para dejar 2 plantas por mata.

4.2.3 Cosecha

En ambos ensayos la cosecha se realizó entre los 115 y 120 dds debido a que se tomó en cuenta la etapa fisiológica de cada uno de los cultivares evaluados.

4.3. Recolección de datos en campo

4.3.1. Caracteres a medir

Los caracteres que se evaluaron fueron tomados en la parcela útil los cuales fueron los dos surcos centrales de cada unidad experimental (4 surcos) se seleccionaron tomando como referencia la guía oficial para la descripción varietal del maíz; se evaluarán un total de 23 caracteres: 19 cuantitativos y cuatro cualitativos, estos caracteres son considerados como esenciales; entre ellos: Rendimiento (REND), hojas por planta (HPP), número de ramas laterales en la espiga (NRLE), floración masculina (FM), floración femenina (FF), longitud de la espiga principal (LEP), número de hileras por mazorca (NHMP), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), peso de grano (PG), peso de mil semillas (P1000), peso por parcela (PPP), longitud de semilla (LSEM), ancho de semilla (ASEM), grosor (GROSOR), peso hectolitrico (PH), índice de flotación (INDFLOT), Coloración de anteras (CANTER), coloración de estigmas (CESTIG), coloración de glumas (CG), coloración en la base de las glumas (CBG).

4.4. Pruebas de laboratorio en semilla

4.4.1. Prueba de germinación

En la industria de las semillas el porcentaje de germinación, es el parámetro más importante para evaluar los lotes de producción de semilla, ya que este valor es utilizado para la certificación y comercialización del producto como punto de referencia de la calidad del lote en cuestión. Las pruebas de germinación se hacen normalmente bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, motivo por el cual muchas veces los resultados de estas pruebas no corresponden a los resultados obtenidos en campo; de esta forma, se ha optado por implementar paralelamente a la germinación, pruebas de vigor para emitir veredictos integrales sobre la calidad fisiológica de un lote de semillas.

En la agricultura, la calidad de semilla es un componente básico para obtener una mayor eficiencia productiva (Andrade, 1992). La calidad de la semilla es un estándar de excelencia o atributo que puede determinar el funcionamiento de ésta al momento de la siembra o almacenamiento. Los componentes de calidad de la semilla se pueden agregar en categorías, donde se menciona la descripción, higiene y potencial de funcionamiento; en este último, se toma en cuenta el vigor y la germinación (Hampton, 2002).

Es por ello que se realizaron pruebas en laboratorio de germinación. Para esto se seleccionaron 100 semillas de cada origen y se colocaron entre toallas de papel (cuatro repeticiones de 25) y se enrollaron en forma de taco. Posteriormente las semillas (tacos) se colocaron en la germinadora ubicada en el laboratorio de semillas en el edificio de genética del COLPOS Montecillo, a una temperatura de 25 °C en ausencia de luz por seis días. Las semillas se evaluaron en prueba de germinación estándar (ISTA, 2004),

en cuatro repeticiones de 100 semillas en total. La evaluación se llevó a cabo siguiendo los criterios de la (ISTA, 2004), se realizó un único conteo al sexto día.

4.4.2 Peso seco de plúmula y radícula

En este último además se tomó el número de plántulas con presencia o ausencia de antocianinas y se midió el peso seco de plúmula y radícula tomando como referencia las plántulas normales de cada origen.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Prueba de germinación estándar

Los valores que se obtuvieron en la prueba de germinación fueron en base a las plántulas normales, descartando aquellas semillas sin germinar y plántulas anormales (aquellas en donde algunas de sus partes vegetativas no se desarrollaron de manera normal). Al final de la prueba se dividió el número total de plántulas germinadas entre el número total de semillas.

En el cuadro 2 se muestra el resultado del análisis de varianza que se realizó para esta prueba, el modelo detectó diferencias altamente significativas entre plántulas normales y anormales, y diferencias significativas para semillas sin germinar.

Cuadro 2. Análisis de varianza para germinación estándar.

Fuente de Variación	Origen	Error	Total	C.V. (%)
G. L	4	100.75	79	
Plántulas normales	9.32**	2.7		7.27
Plántulas anormales	7.56**	1.36		101.26
Semillas sin germinar	4.45*	1.15		88.39

Por lo anterior se cotejo con la suma de cuadrados medios y en el cuadro 3 se observa que el origen Semillas la Ejidal fue el mejor, seguido por INIFAP y el más bajo fue Maíces del Trópico.

Cuadro 3. Comportamiento medio de los orígenes en la prueba de germinación estándar

Origen	Plántulas normales	Plántulas anormales	Semillas sin germinar
INIFAP	23.06b	1.13b	1.13ab
Terra Semillas	22.69b	1b	1.25ab
Iyadilpro	22.19c	1.06b	1.75a
Maíces del Trópico	20.88c	2.5a	1.63 a
Semillas la Ejidal	24.31a	0.38b	0.31b

El mayor porcentaje de germinación lo obtuvieron las semillas de Semillas la Ejidal e INIFAP con 97 y 93% respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de los orígenes en la prueba de germinación estándar.

Origen	% germinación
INIFAP	93
Terra Semillas	90
Iyadilpro	88
Maíces del Trópico	83
Semillas la Ejidal	97

5.2. Análisis de vigor

En el análisis de varianza, se detectó un alto grado de variación entre los orígenes para peso de plúmula, peso de radícula y longitud de radícula, las diferencias fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las variables antes mencionadas (Cuadro 5). Con tales diferencias se demuestra considerable contraste entre los orígenes; según Sarkissian (1964) la superioridad se puede deber a su composición genética, ya que las semillas de los híbridos presentan mejor emergencia de radícula y vigor.

Cuadro 5. Peso de plúmula y radícula, longitud de plúmula y radícula de la semilla.

Fuente de Variación	Origen	Error	Total	C.V. (%)
G. L	4	10	14	
Peso plúmula	663.57**	25.73		13.94
Peso radícula	315.73**	9.8		12.66
Longitud plúmula	1.84ns	0.82		7.87
Longitud radícula	15.05**	0.61		5.1

En el Cuadro 6 se muestran las medias de las variables de los cinco orígenes, se observa que INIFAP y Semillas la Ejidal fueron los mejores en cuanto al peso de plúmula, peso de radícula y longitud de radícula, pues estadísticamente son iguales de acuerdo al análisis.

Por lo anterior los resultados de vigor eran esperados pues de acuerdo a la prueba de germinación los dos orígenes antes mencionados obtuvieron el porcentaje más alto y estas dos pruebas están fuertemente relacionadas.

Cuadro 6. Comportamiento de los orígenes en las diferentes variables de semilla.

Origen	Peso (g)		Longitud (cm)	
	Plúmula	Radícula	Plúmula	Radícula
INIFAP	59.33c	37.33b	12.67a	18.27b
Terra Semillas	25.33a	20.67a	11.17a	13.17a
Iyadilpro	27.33a	15a	11.12a	14.47a
Maíces del Trópico	26.33a	16.67a	10.67a	13.67a
Semillas la Ejidal	43.67b	34b	11.87a	18.25b

5.3. Caracteres cuantitativos y cualitativos

5.3.1. Análisis de la varianza (ANDEVA)

En el análisis de varianza, se detectó un alto grado de variación entre los orígenes casi para todas las variables evaluadas, por lo que se infiere la existencia de diversidad

genética entre los mismos. Entre los ambientes hubo diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en casi todos los atributos morfológicos a excepción del número de hileras por mazorca, peso de mil semillas, longitud de semilla y ancho de semilla (Cuadro 7). Con tales diferencias se demuestra considerable contraste entre los dos ambientes, en la cual influyeron, además de las características climáticas y edáficas de las localidades, las diferencias en fechas de siembra y en manejo del cultivo en cada localidad.

Algunas de las variables detectadas aquí como apropiadas para la clasificación, también fueron seleccionadas en otros estudios con criterios similares; así Sánchez *et al.* (1993) indican que las características de la mazorca o reproductivas, entre los que se incluye a número de hojas totales, longitud de la rama central de la espiga, anchura de grano, son las más apropiadas para la caracterización en maíz. Ninguna de las variables presentó interacción origen x ambiente, (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de ambientes de las variables.

Fuente de Variación	Origen	Ambiente	Origen x Ambiente	Error	Total	C.V. (%)
G. L	4	1	4	110	119	
REND	30713919.27**	236602083.3**	749908.85ns	1174970.64		21.64
HPP	6.89**	90.13**	0.41ns	0.66		5.94
NRLE	50.61**	428.65**	1.73ns	3.84		16.54
FM	40.03**	440.83**	0.62ns	1.78		2.41
FF	59.53**	414.41**	1.1ns	2.53		2.85
LEP	88.68**	119.9**	2.1ns	1.89		4.8
NHPM	2.22**	0.02ns	0.97ns	0.46		4.96
AP	5404.02**	5208.74**	143.61ns	212.09		7.32
AM	5055.27**	7369.6**	66.91ns	92.28		9.97
LM	8.82**	101.07**	0.18ns	0.5		4.8
DM	0.65**	0.8**	0.02ns	0.02		3.37
PG	14.68**	46.31**	0.51ns	0.54		21.09
P1000	6521.67**	163.33ns	588.33ns	352.58		7.87
PPP	30.71**	236.6**	0.75ns	1.17		21.64
LSEM	7.65**	1.47ns	0.09ns	0.38		5.4
ASEM	2.59**	0.01ns	0.07ns	0.15		4.54
GROSOR	0.37*	0.48*	0.12ns	0.08		6.97
PH	26.53*	838.87**	1.79ns	7.59		3.6
INDFLOT	323.88*	2050.13**	22.72ns	76.53		32.06

* Significancia a 5 %; ** significancia a 1 %; ns = no significativo.

5.3.2. Densidades entre Ambientes

La información indica que existieron diferencias entre ambientes y densidades, en el cuadro 6 se muestran densidades a las que de forma combinada se sometieron los dos ambientes y en cada una hubo variables con diferencias significativas, en la densidad de 62-20 las variables que tuvieron mejor respuesta fueron rendimiento, longitud de mazorca, peso de grano y peso por parcela. Antolín et al. (2009) señalaron que en maíz el rendimiento en forraje es afectado por la densidad de plantas y variabilidad genética de variedades e híbridos, situaciones que concuerdan con lo obtenido en este trabajo.

En la densidad 83-15 la variable sobresaliente fue floración femenina con 56 días; para la densidad 62-40 la variable hojas por planta fue la más baja con 13 hojas y longitud de la espiga principal con 28.93 cm, por último, para la densidad 83-30 sobresalieron número de ramas laterales en la espiga principal con 12.56, diámetro de mazorca de 4.37 cm y peso de mil semillas 246 g.

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 8), las variables floración masculina, número de hileras por mazorca, altura de planta, altura de mazorca, longitud de semilla, ancho de semilla, grosor de semilla, peso hectolitrico e índice de flotación, hubo diferencias significativas; de acuerdo con el Cuadro 5, no hubo diferencias significativas para la variable floración masculina, pero se observó que en la densidad 83-15 fue la que más se acercó a lo reportado por Sierra et al. (2008), pues en el sureste mexicano en primavera-verano, el H-520 en 56 días llega a floración masculina.

Cuadro 8. Comportamiento medio de las variables evaluadas en diferentes densidades y arreglos topológicos.

Densidad	REND	HPP	NRLE	FM	FF	LEP	NHPM	AP	AM	LM
62-20	5424.17a	13.82a	12.14a	55.20a	55.40b	28.88ab	13.91a	202.19a	99.31a	15.02a
83-15	4958.33ab	13.34b	10.43b	55.97a	56.43a	28.55ab	13.53a	195.21a	94.14a	14.39c
62-40	4653.33b	13.88a	12.26a	55.37a	55.63ab	28.93a	13.81a	199.32a	96.84a	14.86ab
83-30	4997.5ab	13.84a	12.56a	55.20a	55.50ab	28.17b	13.56a	199.23a	95.13a	14.56bc

Densidad	DM	PG	P1000	PPP	LSEM	ASEM	GROSOR	PH	INDFLOT
62-20	4.36a	3.81a	241.33a	5.42a	11.48a	8.64a	4.01a	76.00a	26.70a
83-15	4.21b	3.42ab	227.00b	4.96ab	11.22a	8.58a	4.04a	75.97a	28.03a
62-40	4.34a	3.27b	240.33a	4.65b	11.59a	8.65a	4.14a	77.07a	28.37a
83-30	4.37a	3.45ab	246.00a	5.00ab	11.53a	8.73a	4.00a	77.52a	26.03a

5.3.3. Análisis de componentes principales

En el presente estudio se detectó que los componentes principales 1 (40.8%), 2 (28.3%) y 3 (17.9%) explicaron 87% de la variación original, por lo que las correlaciones aproximadas que se pueden observar en el biplot de la Figura 1 entre orígenes del H-520, entre variables agronómicas y entre ambientes y variables pueden interpretarse confiablemente (González *et al.*, 2010).

Con las 23 variables, los orígenes se sometieron a un análisis de componentes principales (CP). Los tres primeros componentes explicaron 41%, 28.3 % y 17.9% de la variación total, respectivamente (Cuadro 9). En el CP1 rendimiento, hojas por planta, número de ramas laterales en la espiga principal, floración masculina, peso hectolitrico e índice de flotación contribuyeron mayormente a la variación explicada por este componente, en tanto que en el CP2 las características de mayor importancia fueron ancho de semilla, grosor de semilla, coloración de las glumas, coloración en la base de las glumas. Por último, en el CP3 fue diámetro de mazorca.

Cuadro 9. Resultado del análisis de componentes principales de 23 características de 5 orígenes del híbrido de maíz H-520. Las variables con mayor peso están en negritas.

Variable	CP1	CP2	CP3
Rendimiento (kg)	0.86	-0.12	0.15
Hojas por planta	0.88	-0.39	0.23
Numero de ramas laterales en la espiga (numérico)	0.98	-0.05	0.11
Floración masculina (días)	0.85	-0.03	0.47
Floración femenina (días)	0.80	-0.10	0.52
Longitud de espiga principal (cm)	-0.76	-0.53	0.34
Numero de hileras por mazorca (numérico)	-0.30	-0.60	0.47
Altura de planta (cm)	0.49	-0.50	0.67
Altura de mazorca (cm)	0.48	-0.63	0.55
Longitud de mazorca (cm)	-0.80	0.10	0.56
Diámetro de mazorca (cm)	-0.07	0.53	0.82
Peso de grano (kg)	-0.29	0.72	0.54
Peso de 1000 semillas (g)	0.57	0.67	0.29
Peso por parcela (kg)	-0.50	0.61	0.56
Longitud de semilla (cm)	0.67	0.56	0.46
Ancho de semilla (cm)	0.44	0.80	-0.03
Grosor (cm)	0.07	-0.84	0.14
Peso hectolitrico (hL)	-0.93	0.25	0.15
Índice de flotación (numérico)	0.85	-0.28	0.34
Coloración de anteras (numérico)	0.73	-0.30	0.57
Coloración de estigma (numérico)	-0.30	-0.07	-0.36
Coloración de gluma (numérico)	0.35	0.83	-0.02
Coloración base de las glumas (numérico)	0.33	0.90	0.01
Valor propio	9.39	6.52	4.17
Proporción acumulada	0.41	0.69	0.87

El Grupo I, ubicado en la parte central del Cuadrante I, tuvo similitud en la coloración en la base de las glumas, coloración de glumas, ancho de semilla (0.892 a 0.898 cm), peso de mil semillas (257.50 a 259.17 g) y longitud de semilla (1.193 a 1.224 cm) en donde estas variables explican la similitud de los orígenes de INIFAP y Semillas la Ejidal en el ambiente Cotaxtla. La UPOV (citado por Virgen, 1991) considera que los caracteres cualitativos son de gran utilidad para caracterizar poblaciones de cultivos, ya que están

determinadas por pocos genes y no cambian su expresión a través de ambientes, como podría ocurrir con los caracteres cuantitativos.



Figura 1. Coloración de glumas y coloración en la base de las glumas del origen de INIFAP (a) y Semillas la Ejidal (b).

El Grupo II, disperso en el Cuadrante IV, este grupo se integró por tener casi el mismo rendimiento (2033 a 4800 kg ha⁻¹), color de anteras, numero de ramas laterales en la espiga (8 a 11), hojas por planta (12), índice de flotación (17.8 a 25.92 g/mL), altura de planta (169.33 a 215.50 cm), altura de mazorca (72.91 a 112.42 cm) y grosor de semilla (0.399 a 0.413 cm), en donde estas variables explican la similitud de los orígenes Terra Semillas, Maíces del trópico e Iyadilpro. Aun cuando mostraron cierta cercanía con otro origen como Semillas la Ejidal, sus características sugieren que estas variables constituyeron un grupo diferente. El rendimiento no concuerda con lo reportado por Sierra *et al.*, 2008 en donde el H-520 rindió en promedio 7.29 t ha⁻¹. En cuanto a la altura de planta y mazorca Sanchez *et al.*, 2013 obtuvo 228 cm y 139 cm, respectivamente superiores a las de este estudio.



Figura 2. Coloración de anteras de los orígenes Maíces Tropicos (a), Terra Semillas (b) e lyadilpro (c).

El Grupo III se ubicó en el Cuadrantes II, mostrando similitud en características de peso de grano (4.49 a 5.19 kg), peso por parcela (6.77 a 7.70 kg) y diámetro de mazorca (4.27 a 4.40 cm), estas explican la similitud de los orígenes de INIFAP y Semillas la Ejidal en el ambiente de Piedras Negras.

El Grupo IV se distribuyó en los Cuadrantes II y III el cual está integrado por longitud de mazorca (13.18 a 14.59 cm), floración masculina (53 a 55 días), floración femenina (53

a 56 días), coloración de estigmas, longitud de la espiga principal (27.78 a 29.57 cm), número de hileras en la mazorca (13.52 a 15.17), peso hectolitrico (73.65 a 74.95 kg/hl) estas a su vez explicaron la igualdad que existe entre los orígenes Terra Semillas, Maíces del trópico e Iyadilpro en el ambiente Piedras Negras. Estos resultados concuerdan con Sanchez *et al.*, 2013, en donde en el sureste mexicano tarda 54 a 56 días para la floración masculina, contrastante con los orígenes INIFAP y Semillas la Ejidal en donde fue de 52 a 56 días.

La alta proporción de la varianza explicada con un bajo número de componentes permitió una mejor interpretación de esa variación con este tipo de análisis (Pla, 1986). Con base en el análisis de agrupamiento (INFOSTAT, 2014) y con un radio en la hiper-esfera de exploración $R = 0.9$, la dispersión de las accesiones en el plano de los tres primeros CP mostró 4 grupos bien definidos por los orígenes, ambientes y por las variables que conformaron cada grupo (Figura 3).

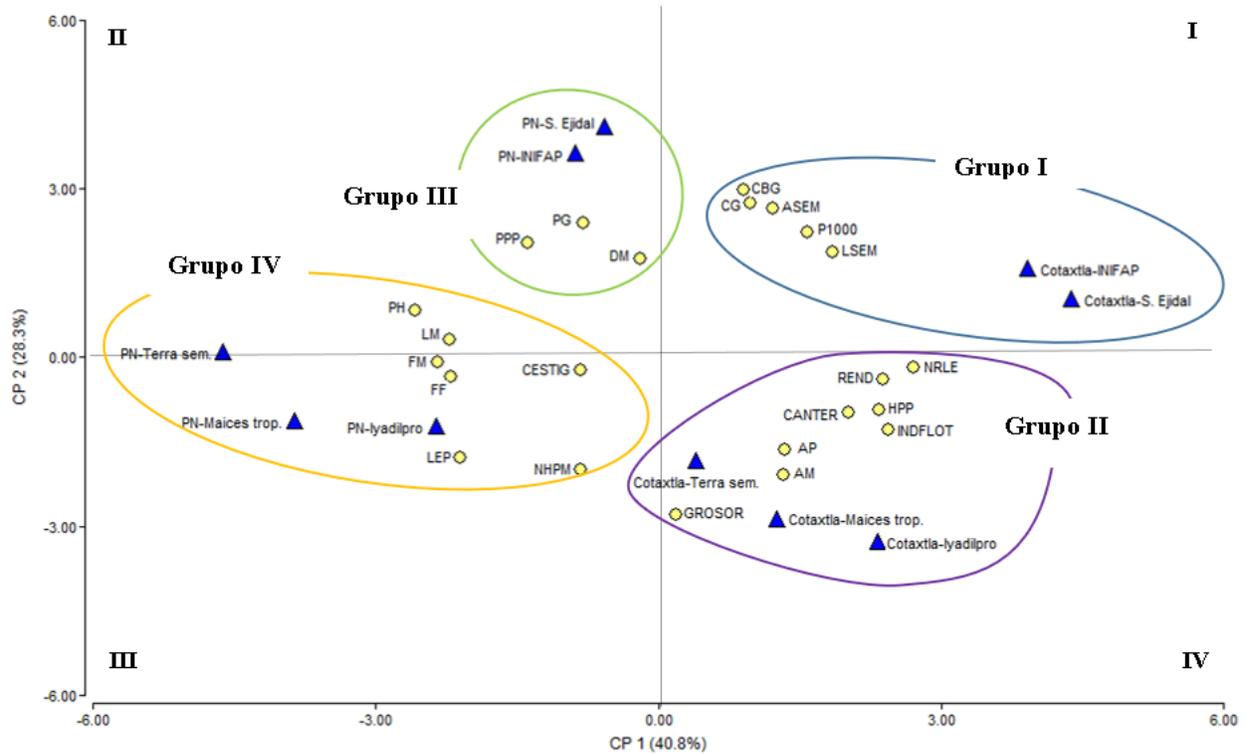


Figura 3. Dispersión de cinco orígenes en dos ambientes del híbrido de maíz H-520 con base en los dos primeros componentes principales. INIFAP; S. Ejidal = Semillas la Ejidal; Terra Sem. = Terra Semillas; lyadilpro; Maíces Trop. = Maíces Trópicos; Cotaxtla; PN = Piedras Negras; REND = rendimiento, HPP = hojas por planta, NRLE = número de ramas laterales en la espiga, FM = floración masculina, FF = floración femenina, LEP = longitud de la espiga principal, NHPM = número de hileras por mazorca, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, LM = longitud de mazorca, DM = diámetro de mazorca, PG = peso de grano, P1000 = peso de mil semillas, PPP = peso por parcela, LSEM = longitud de semilla, ASEM = ancho de semilla, GROSOR = grosor de semilla, PH = peso hectolítrico, INDFLOT = índice de flotación.

En la figura 4 se puede apreciar el color de los estigmas de los orígenes Terra Semillas, Maíces Trópicos e lyadilpro, tuvieron similitud en ambos ambientes es por ello que se relacionaron en el cuadrante IV del plano cartesiano.

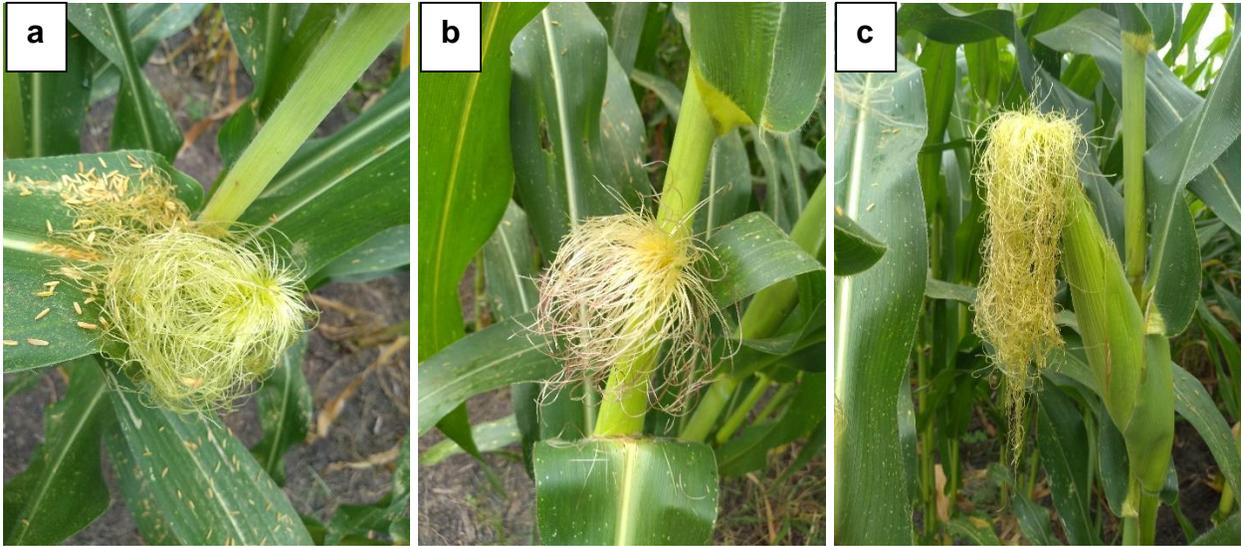


Figura 4. Coloración de estigmas Tera Semillas (a), Maíces Trópicos (b) e Iyadilpro (c).

En la figura 5 se puede observar el color de estigma que INIFAP y Semillas la Ejidal mostraron en este experimento, pues el color rosa tenue fue la frecuencia que sobre salió un 80%, caso contrastante con la figura 4 en donde la frecuencia que más predominó fue la ausencia de color rosa.

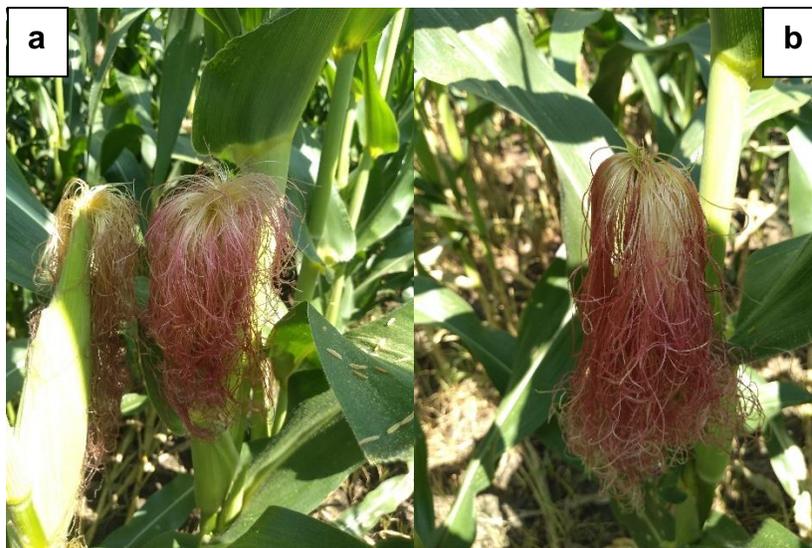


Figura 5. Color de estigmas INIFAP (a), Semillas la Ejidal (b).

VI. CONCLUSIÓN

Dentro de los cinco orígenes que se evaluaron del híbrido de maíz H-520, INIFAP Y Semillas la Ejidal del ambiente de Cotaxtla se diferencian claramente del resto ya que las variables coloración en la base de las glumas, coloración de glumas, ancho de semilla (8.92 a 8.98 cm), peso de mil semillas (257.50 a 259.17 g) y longitud de semilla (11.93 a 12.24 cm), debido a la alta similitud entre estas, mientras que Semillas Iyadilpro S.A. de C.V., Terra Semillas S.A., Maíces del Trópico se diferencia del mismo ambiente por tener los menores valores en cuanto al rendimiento (2033 a 4800 kg ha⁻¹), número de ramas laterales en la espiga (8 a 11), hojas por planta (12), índice de flotación (17.8 a 25.92 g/mL), altura de planta (169.33 a 215.50 cm), altura de mazorca (72.91 a 112.42 cm), y grosor de semilla (3.99 a 4.13 cm).

Se definieron las variables, coloración en la base de las glumas, coloración de glumas, ancho de semilla, peso de mil semillas y longitud de semilla en el ambiente de Cotaxtla y características de peso de grano, peso por parcela y diámetro de mazorca en el ambiente de Piedras Negras como las más apropiadas para la caracterización fenotípica del H-520.

La inclusión de un considerable número de variables indujo certidumbre en la diferenciación morfológica y agronómica de los diferentes orígenes del híbrido de maíz tropical H-520. Estas diferencias hablan de la forma en que las empresas producen este híbrido, pues solo Semillas la Ejidal igualo y en algunas variables supero al testigo, esto nos da a entender que las demás empresas hacen algo diferente en su producción. Así mismo, se confirmó la existencia de una diferencia notable en la identidad pues no se

había realizado un experimento para evaluar este híbrido de los muchos que hay en el mercado actualmente, al igual que los agrupamientos de las variables y las interrelaciones entre orígenes.

VII. LITERATURA CITADA

- Andrade, B. H. J. 1992. Mejoramiento del vigor en semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 98 p
- Antolín, D.M; González, R.M; Goñi, C.S; Domínguez V, IA; Ariciaga, G.C. 2009. Rendimiento y producción de gas in vitro de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. *Técnica Pecuaria en México* 47(4):413-423.
- Chávez, J.L., 1995. Mejoramiento de Plantas 2: Métodos Específicos de Plantas Alógamas. Ed. Trillas-UAAAN. México, D. F. 143 p.
- CIAT, 1983. Metodología para obtener semilla de buena calidad; arroz, frijol, maíz, sorgo. Comp. Edit. Unidad de Semillas, Cali, Colombia. 200 p.
- CIMMYT, 1999. Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de polinización libre. Segunda edición. México, D.F.: CIMMYT.
- Douglas, J.E., 1982. Programa de semillas, guía de planeación y manejo. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Douglas, J.E., 1991. Programas de Semillas, gula de planeación y manejo. Trad. de la. En inglés: 2da. Reimpresión. CIAT, Cali, Colombia. 357 p.
- Espinosa, C.A., Ortiz, C.J., Ramírez, F.A., Gómez, N. y Martínez, G.A., 1998. Estabilidad y comportamiento de líneas per se y cruzas de maíz en la producción de semilla. *Agric.Téc.Méx*, 24(1): 27-36
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2020. Situación Alimentaria Mundial. Disponible: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/> (consultado el 8 de junio del 2020).
- Gómez, M.N., 1986. Aptitud combinatoria de maíces tropicales y subtropicales en la región de transición baja de Guerrero. *Rev. Fitotecnia Mexicana*, 8(1): 3-19.
- Hampton, J. G. 2002. What is seed quality? *Seed Sci. Technol.* 30(1):1-10.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2004. International rules for seed testing. Bassersdorf Switzerland. 72 p.
- Keefe, P.D. and Draper, S.R., 1986. The measurement of new characters for cultivar identification in wheat using machine vision. *Seed Science and Technology*, 14(3): 715-724.
- Laverack G., K., 1994. Management of breeder's seed production. *Seed Sci. & Technol.*:22, 551-536.

- Macías, M.S., Sánchez, F.M., Bernal, R.V., Orellana, H.C., Gutiérrez, R.L. y Rubio, A.P., 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Técnica en México*, 30(2): 169-181.
- Muñoz, G., Giraldo, G., Fernández, J., 1993. *Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1993. 174 p. (Publicación CIAT: 177).
- Nadal, A., 2006b. Mexico corn-producing sector: A commentary. *Agriculture and human values*, 23: 33-36.
- Rivas A., A.O., 1988. Identidad varietal en maíz en relación con la estabilidad de diversos caracteres.
- Sánchez, H., M. A., Martínez, C., U. V., Nicolás, J. T., Bertín, M. S., Hernández, C., Jiménez-Rojas, M. C., Villanueva-Verduzco, C., 2013. Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 4 Núm. 3 Pág. 271-288.
- Sierra M. M., Palafox C. A., Rodríguez M. F. A., Espinosa C. A., Gómez M. N., Caballero H. F., Barrón F. S., Sandoval R. A. y Vázquez C. G., 2006. H-518, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura técnica en México*, 32(1): 115-119.
- Sierra-Macías, M., Caballero, A.P., Espinosa, C.A., Caballero, H.F., Montalvo, F.R., Freyre, S.B. y Valdivia, B.R., 2005. Adaptabilidad de híbridos triples de maíz y de sus progenitores para la región tropical del sureste de México. *Agronomía mesoamericana*, pp. 13-18.
- Sierra M. M., Palafox C. A., Rodríguez M. F. A., Espinosa C. A., Gómez M. N., Caballero H. F., Barrón F. S., Sandoval R. A. y Vázquez C. G., 2008 H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura técnica en México*, 34(1): 119-122p.
- Sneep, J. and A. J.T. Hendriksen, 1979. *Plant breeding perspective*. Centre for Agricultural publishing and documentation. Wageningen, Netherland. 435 p.
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2014). *Guía técnica para la descripción varietal de maíz (Zea mays L.)*. disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/120832/Maiz.pdf>
- Tiessen, A., 2012. *Fundamentos de mejoramiento genético vegetal: conceptos básicos de genética, biología molecular, bioquímica y fisiología vegetal*. Edit. Académica Española.
- UPOV, Unión de Productores y Obtentores de Variedades, 2002. *introducción general al examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad y a la elaboración de descripciones armonizadas de las obtenciones vegetales*. TG/1/3. Disponible en: https://www.upov.int/export/sites/upov/publications/es/tg_rom/pdf/tg_1_3.pdf

- Vargas, S.J.E., Molina G.J.D., Cervantes, T.S., 1982. Selección masal y parámetros genéticos en la variedad de maíz Zac. 58. *Agrociencia* 48:93-105.
- Vázquez, C.G., García, L.S., Salinas, M.Y., Bergvinson, D.J. and Palacios, R.N., 2011. Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(2), pp. 203-20.
- Vielle, C., Jean, P. 2007. Decodificando el genoma del maíz en Guanajuato de CONCYTEG, pp. 824-83.
- Virgen V., J. 1991. Caracterización de genotipos de maíz y su utilidad en el mantenimiento varietal. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 100 p.