



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO

JUAN ESTRADA URBINA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

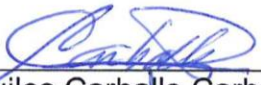
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO**, realizada por el estudiante: **Juan Estrada Urbina**, 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



Dr. Aquiles Carballo Carballo

ASESOR



M. en C. Adrián Hernández Livera

ASESOR



Dr. Blas Cruz Lagunas

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, noviembre de 2022

CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO

Juan Estrada Urbina, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

La calidad de las semillas está compuesta por los atributos físico, genético, fisiológico y fitosanitario que, en conjunto, le dan la capacidad para germinar, emerger, y desarrollarse satisfactoriamente en campo. Las semillas de maíces nativos tienen la ventaja de adaptarse a terrenos accidentados y limitados en nutrientes; no obstante, su calidad es baja en contraste con semillas mejoradas. La raza Pepitilla, además de ser la mejor raza de maíz para la elaboración de tortillas, presenta una buena adaptabilidad en zonas accidentadas del estado de Guerrero; no obstante, presenta diversos problemas relacionados con la selección de poblaciones para la obtención de una semilla en cumplimiento con el estándar nacional de calidad. En este estudio se evaluó en 10 colectas de semilla de Pepitilla la calidad física (pureza física, tamaño de semilla, y caracterización física); y fisiológica (prueba de germinación, vigor de plántula, diámetro de plúmula, y producción de biomasa); adicionalmente se determinó el vigor con las pruebas de emergencia de la radícula, imbibición de semillas, y profundidad de siembra (6 y 12 cm). Tres variedades mejoradas se utilizaron como grupo control. Los resultados de la calidad física mostraron que las colectas no logran el mínimo permisible de 99% de semilla pura; la semilla es de tipo alargada (>14.4 mm) y delgada en espesor (< 4.2 mm). Por otra parte, el peso volumétrico y el de 1000 semillas presentaron, respectivamente, valores en rango de 64.5 – 72.1 kg/hL, y de 272.9 – 380.5 g. El contenido de humedad no mostró variación. En términos de la germinación, algunas colectas tuvieron un porcentaje mayor o igual a 90%. La longitud de raíz secundaria y el número de raíces secundarias fueron las variables que mejor determinan el vigor de plántula. Sólo tres poblaciones nativas tuvieron un diámetro de plúmula mayor de 2.8 mm. Con el contenido de materia seca se identificó a los genotipos sobresalientes. En el vigor por la emergencia de radícula se obtuvieron altos valores de protrusión, de emergencia y longitud de radícula en las colectas de Pepitilla; en la prueba de imbibición se observó que esta raza absorbe agua de manera lenta y gradual; no obstante, a las 36 h se presenta un alto valor de ruptura de testa ($>20\%$). En la profundidad de siembra se observó que la emergencia de plántulas a los 6 cm fue mayor a 80%; a los 12 cm de 30%. La raíz principal tuvo un menor desarrollo a 12 cm de profundo, contraste a la de 6 cm; el número de raíces secundarias fue mayor en las plántulas de la profundidad de 12 cm. El mesocotilo presentó elongación a los 12 cm de profundidad (7.7 cm); para el diámetro de tallo, la siembra a 12 cm de profundidad presentó el mayor grosor con casi 3.6 mm. En suma, se logró identificar las colectas con alto nivel de calidad física, fisiológica, y vigor de semilla, como parte de un proyecto enfocado a la selección de genotipos cuya semilla sea de altos niveles de calidad, y con buena productividad de grano.

Palabras clave: *Zea mays* L., maíz nativo, emergencia de la radícula, profundidad de siembra, imbibición de semillas.

PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY IN PEPITILLA LANDRACE MAIZE SEEDS FROM THE LOW MOUNTAIN OF GUERRERO

Juan Estrada Urbina, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

Seed quality comprises the physical, genetic, physiological, and phytosanitary attributes, which together give the ability to germinate, emerge, and the satisfactorily seedling's develop in the field. Native maize seeds have the advantage of adapting to hillside and nutrient-limited lands; however, its quality is low in contrast to improved seeds. In this case, Pepitilla landrace, besides being the best maize landrace for tortillas, it has a wide adaptability in hillside areas of Guerrero state, but this maize has several problems related to the selection of native populations to obtain a seed quality according to the national quality standard. In this study, seed quality was evaluated in 10 Pepitilla collections through physical quality (physical purity, seed size, and physical characterization), and physiological quality (germination test, seedling vigour, plumule diameter, and biomass production). In addition, vigour tests were performed by radicle emergence, seed imbibition, and planting depth (6 and 12 cm). Three improved varieties were used as control. The results of physical quality showed that collections do not achieve the 99% minimum of pure seed; also, Pepitilla seed is long (>14.4 mm) and thin (<4.2 mm). On the other hand, volumetric and 1000 seeds weights showed values in range of 64.5 – 72.1 kh/hL and 272.9 – 380.5 g. Moisture content did not vary. In germination test, some populations were equal or above to 90%. Primary root length and secondary roots number were the bests for seedling vigour estimate. Only three Pepitilla collections showed a plumule diameter up to 2.8 mm. Dry matter content was one the best component to identify the best genotypes. In the radicle emergence vigour test, we obtained high values on protrusion and radicle emergence for the Pepitilla collections; results from imbibition test indicates that Pepitilla maize absorbs water slow and gradually; however, a high testa rupture value (>20%) was shown at 36 h, compared to the improved varieties (<10%). By de sowing depth vigour test, seedling emergence was up 80% when seeds sowed at 6 cm; at 12 cm depth those were 30%. The main root had a lower development at 12 cm depth, in relation to 6 cm seedling depth; on the other hand, the number of secondary roots was greater in the seedlings at a depth of 12 cm. The mesocotyl had greater length in the deepest planting (7.7 cm); the stem diameter showed in the 12 cm planting depth the best diameter with almost 3.6 mm. In summary, it was possible to identify the Pepitilla collections with a high level of physical and physiological quality, and seed vigor, as part of a project focused on the selection of potentially high-quality seed-production genotypes, and with good grain productivity.

Key words: *Zea mays* L., native maize, radicle emergence, sowing depth, seed imbibition.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Por la beca 865799 para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, y en especial al programa de postgrado en **Recursos Genéticos y Productividad – Producción de semillas.** Por permitirme alcanzar éste grado académico.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo. Por su invaluable apoyo desde mi ingreso al posgrado, sus valiosas aportaciones a la investigación, la confianza que ha depositado en mí, su paciencia, calidez humana y comprensión que siempre mostró durante todo este tiempo. Simplemente, gracias por todo Doctor. Nos vemos en el Doctorado en Ciencias.

Al M. en C. Adrián Hernández Livera. Por haber sido asesor en mi Consejo Particular, sus aportaciones puntuales a la investigación, y sobre todo, el haberme permitido utilizar el Laboratorio de Análisis de Semillas para desarrollar la mayor parte de este estudio.

Al Dr. Blas Cruz Lagunas, quien fungiera como asesor externo en mi Consejo Particular y catedrático de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la UAGro. Su apoyo y las facilidades que me otorgó durante mi estancia en el posgrado fueron muy importantes para desarrollar puntualmente la investigación.

A la Dra. Ma. Elena Ramírez. Por el apoyo durante mi estancia en la Maestría en Ciencias y a la metodología de la escala de vigor de semillas. Si bien la metodología no pudo ser incorporada a la tesis, seguiremos trabajando en ello para su publicación.

Al M. en C. Juan Celestino Molina Moreno. Los conocimientos que me transmitió en el curso de Acondicionamiento de Semillas siempre los tendré en consideración, así como su siempre motivación y palabras de aliento. Siempre recordaré que del curso que fue impartido se derivó un artículo científico que está próximo a ser publicado.

Al M. en C. Julio Arturo Estrada Gómez. Sus palabras me sirvieron de motivación para seguir adelante en mi línea de investigación; igualmente, le agradezco por haber

participado en los experimentos que fueron realizados de manera conjunta con el M. en C. Molina Moreno.

Al Dr. José Apolinar Mejía Contreras. Por haber aceptado participar como sinodal en mi examen de grado y sus comentarios respecto de la investigación.

Al Dr. Gabino García de los Santos. Siempre estuvo motivándome en los cursos que tomé con usted; sus conocimientos y las clases me ayudaron a considerar algunos estudios futuros en el área de semillas.

A la Sra. María Alicia Martínez Reyes. Secretaria de la Coordinación del programa de Producción de Semillas, por todo el apoyo en los trámites administrativos y la orientación en mis dudas durante mi estancia en el posgrado.

Al Ing. Lucas Gonzaga Román. Quien me apoyara en las colectas de maíz Pepitilla.

DEDICATORIAS

A mis padres: Rosalío Estrada Nájera y Ma. Guadalupe Urbina Bahena. Por todo su apoyo, confianza, y palabras de aliento para seguir adelante.

A mis hermanos: Rosalío Lehninger, Neisi Guadalupe, Félix Roselia, y Modesto Alfredo. Por el apoyo que siempre me han dado y todo lo que hemos vivido.

A mi mejor amiga de la Universidad: Grecia Guadalupe Lara Ocampo.

A las personas que aprecio mucho y me han enseñado el valor de la amistad: Aldair Magaña (mi carnal), Elyde Marcelino, Andrés Salas, Guadalupe Abarca.

A las amistades del Colegio de Postgraduados que me apoyaron en el desarrollo de la investigación: Emmanuel Cantú (mi parcerero), Miguel Bailón, Oscar Bibiano, Marco Sánchez, Andrea Pacheco, Julieta Venegas, y Rodolfo de la Cruz.

A las personas que me dieron su amistad, su apoyo y orientaron durante y después de mi estancia laboral: Oscar Benítez Narváez, Ariadne Sánchez y su esposo Julio Ortega, Eduardo Padilla Vaca y Francisco Arriaga Maldonado.

Con mucho cariño especial: Cintia Karina García Castillo. Desde que te conocí me tendiste una mano amiga y tu apoyo incondicional; encontré en ti una gran amiga, buena confidente, y siempre estuviste apoyándome en todo momento. Hoy que la vida nos juntó y que decidimos iniciar una etapa nueva en pareja, me siento feliz de poder compartir contigo mis logros que, sin lugar a dudas, también son tus logros. Gracias por aceptarme, por soportarme, por apoyarme, por compartir tu vida conmigo y sobre todo... por amarme. Te amé ayer, te amo hoy, y te amaré siempre. Con amor: J.E.U.

A la vida...

“Porque veo al final de mi rudo camino, que yo fui el arquitecto de mi propio destino”. –Amado Nervo.

“Toda la gloria del mundo, cabe en un grano de maíz”. -José Martí

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIAS	vii
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Justificación	3
Objetivos	4
Objetivo general.....	4
Objetivo específicos.....	4
Hipótesis	5
REVISIÓN DE LITERATURA	6
La importancia y diversidad de maíces nativos en México	6
Potencial productivo de variedades nativas de maíz.	7
El maíz Pepitilla en el estado de Guerrero.....	7
Calidad de semillas.....	9
Calidad física	10
Calidad fisiológica.....	11
Vigor de semillas.....	12
Vigor de semilla por la emergencia de la radícula	13
Vigor de semilla por la profundidad de siembra.....	14
MATERIAL GENÉTICO Y LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	16
Genotipos utilizados.....	16
Ubicación del sitio experimental.....	17
CAPÍTULO I. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA EN SEMILLAS DE MAÍZ	
RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO	18
1.1 RESUMEN.....	18
1.2 ABSTRACT	20
1.3 INTRODUCCIÓN	21

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
1.4.1 Evaluación de la calidad física de las semillas	23
1.4.1.1 Pureza física.....	23
1.4.1.1.1 Muestra de trabajo.....	23
1.4.1.1.2 Semilla pura	24
1.4.1.1.3 Materia inerte	24
1.4.1.1.4 Otras semillas.....	25
1.4.1.2 Tamaño de semilla	25
1.4.1.3 Caracterización física	25
1.4.1.3.1 Contenido de humedad	25
1.4.1.3.2 Peso volumétrico	26
1.4.1.3.3 Peso de mil semillas.....	26
1.4.2 Diseño experimental y análisis estadístico	26
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
1.5.1 Pureza física	27
1.5.2 Tamaño de semilla.....	29
1.5.3 Caracterización física.....	31
1.6 CONCLUSIONES	34
CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO.....	35
2.1 RESUMEN.....	35
2.2 ABSTRACT	37
2.3 INTRODUCCIÓN	38
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
2.4.1 Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas	40
2.4.1.1 Germinación	40
2.4.1.1.1 Porcentaje de germinación.....	40
2.4.1.1.2 Plántulas anormales.....	41
2.4.1.1.3 Semillas no germinadas	41
2.4.1.1.4 Viabilidad total	42
2.4.1.2 Vigor de plántula.....	42

2.4.1.2.1 Longitud de raíz principal	42
2.4.1.2.2 Longitud de raíces secundarias.....	43
2.4.1.2.3 Número de raíces secundarias.....	43
2.4.1.2.4 Longitud de mesocotilo.....	43
2.4.1.2.5 Longitud de coleoptilo.....	43
2.4.1.2.6 Longitud de nomófilos	43
2.4.1.3 Diámetro de plúmula.....	44
2.4.1.4 Producción de biomasa	44
2.4.2 Diseño experimental y análisis estadístico	44
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
2.5.1 Germinación	45
2.5.2 Vigor de plántula.....	48
2.5.3 Diámetro de plúmula.....	52
2.5.4 Producción de biomasa	53
2.6 CONCLUSIONES	57
CAPÍTULO III. VIGOR DE SEMILLA MEDIANTE LA EMERGENCIA DE LA RADÍCULA Y LA IMBIBICIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO.....	58
3.1 RESUMEN.....	58
3.2 ABSTRACT	59
3.3 INTRODUCCIÓN	60
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	62
3.4.1 Evaluación de la emergencia de la radícula	62
3.4.1.1 Protrusión de radícula.....	62
3.4.1.2 Emergencia de la radícula	62
3.4.1.3 Semillas no germinadas	62
3.4.1.4 Longitud de radícula	62
3.4.2 Imbibición de semillas.....	62
3.4.3 Diseño experimental y análisis estadístico	63
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
3.5.1 Vigor por emergencia de la radícula	64

3.5.1.1 Protrusión de radícula.....	64
3.5.1.2 Emergencia de radícula.....	65
3.5.1.3 Semillas no germinadas	68
3.5.1.4 Longitud de radícula	69
3.5.2 Vigor por la imbibición de semilla.....	71
3.6 CONCLUSIONES	75
CAPÍTULO IV. VIGOR DE SEMILLA MEDIANTE LA PRUEBA DE PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO.....	76
4.1 RESUMEN.....	76
4.2 ABSTRACT	78
4.3 INTRODUCCIÓN	80
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	82
4.4.1 Evaluación del vigor de semilla.....	82
4.4.1.1 Emergencia de plántulas	82
4.4.1.2 Velocidad de emergencia de plántulas	82
4.4.1.3 Germinación	83
4.4.1.3.1 Porcentaje de germinación.....	83
4.4.1.3.2 Plántulas anormales.....	84
4.4.1.3.3 Semillas sin germinar	84
4.4.1.3.4 Viabilidad total	85
4.4.1.4 Vigor de plántula.....	85
4.4.1.4.1 Longitud de raíz principal	85
4.4.1.4.2 Longitud de raíces secundarias.....	85
4.4.1.4.3 Número de raíces secundarias.....	86
4.4.1.4.4 Longitud de mesocotilo.....	86
4.4.1.4.5 Longitud de tallo	86
4.4.1.4.6 Longitud de hoja	86
4.4.1.5 Diámetro de tallo	86
4.4.1.6 Producción de biomasa	86
4.4.2 Diseño experimental y análisis estadístico	87

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	88
4.5.1 Emergencia de plántulas	88
4.5.2 Velocidad de emergencia de plántulas	90
4.5.3 Germinación	92
4.5.4 Vigor de plántula	97
4.5.5 Diámetro de tallo.....	102
4.5.6 Producción de biomasa	103
4.6 CONCLUSIONES	109
CONCLUSIONES GENERALES.....	110
LITERATURA CITADA.....	112

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Listado de los genotipos colectados en el municipio de Cuetzala del Progreso de la región Norte del estado de Guerrero para la evaluación de la calidad física y fisiológica.	16
Cuadro 2. Ensayo de la pureza física en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte del estado de Guerrero.	28
Cuadro 3. Caracterización física de 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte de Guerrero.	33
Cuadro 4. Calidad fisiológica mediante la prueba de germinación en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero.	46
Cuadro 5. Vigor de plántula mediante características morfológicas de la raíz y de la parte aérea en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte de Guerrero.	50
Cuadro 6. Producción promedio de biomasa por plántula de la raíz y la parte aérea en 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte, Guerrero.	55
Cuadro 7. Respuesta de la germinación de semillas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas sometidas a dos profundidades de siembra.	95
Cuadro 8. Vigor de plántula en 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas mediante el crecimiento y desarrollo de raíces, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra.	98
Cuadro 9. Vigor de plántula en 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas mediante el crecimiento de las estructuras de la parte aérea, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra.	100
Cuadro 10. Estimación de la biomasa en el tejido de la raíz de las plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra.	105

Cuadro 11. Estimación de la biomasa en el tejido de la parte aérea de las plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra..... 107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones físicas de semilla de 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte de Guerrero.....	30
Figura 2. Diámetro de la plúmula como estimador del vigor de plántula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte de Guerrero..	52
Figura 3. Protrusión radicular mediante la prueba de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero.....	64
Figura 4. Emergencia de la radícula con mínimo 2 mm de longitud mediante la prueba de vigor de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero.....	66
Figura 5. Semillas no germinadas en la prueba de vigor de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero..	68
Figura 6. Longitud promedio de radícula en la prueba de vigor de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero..	70
Figura 7. Curva de imbibición de 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero.	72
Figura 8. Ruptura de la testa en la prueba de imbibición de semillas de 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero..	73
Figura 9. Porcentaje de emergencia de las plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas sometidas a dos profundidades de siembra.....	89
Figura 10. Velocidad de emergencia de plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla de la región Norte del estado de Guerrero, y tres variedades mejoradas sometidos a dos profundidades de siembra de semillas..	91

Figura 11. Vigor de plántula mediante el grosor del tallo de plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas, en dos profundidades de siembra..... 103

INTRODUCCIÓN GENERAL

Desde diversos puntos de vista, el maíz es el cultivo más importante de México, con una superficie agrícola de 7.31 millones de hectáreas, sembradas en el año 2021; principalmente en las zonas sub-húmeda tropical, templada húmeda y sub-húmeda (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009; SIAP, 2022).

En términos de rendimiento, las variedades mejoradas han mostrado ser notablemente superiores a las nativas, pero los pequeños productores suelen preferir sus variedades locales por la ventaja de adaptarse y germinar, incluso, en los terrenos más limitados en nutrientes y suelos poco profundos (Turrent-Fernández *et al.*, 2012).

La raza Pepitilla en particular, presenta una buena adaptabilidad en zonas accidentadas del estado de Guerrero, que se caracterizan por la presencia de laderas con pendientes pronunciadas (> 10%) y suelos delgados de baja fertilidad (Gómez-Montiel *et al.*, 2014), pero este maíz presenta diversos problemas relacionados con la selección de poblaciones nativas para la obtención de una semilla de calidad.

Las semillas juegan un papel muy importante en la producción agrícola. Por ello, el uso de semillas con calidad, sanas, y vigorosas, dará como resultado un alto valor de viabilidad y de vigor de plantas, que al mismo tiempo conservaría su pureza física y genética (Rahmawati y Muhammad, 2020).

Las características genéticas y los efectos ambientales durante las etapas de desarrollo, la cosecha, el acondicionamiento y el almacenamiento, son factores clave que afectan la germinación y el vigor de las semillas, que son aspectos complicados de predecir. Las semillas que han sido sometidas a condiciones desfavorables como a las etapas descritas, pueden presentar daños fisiológicos que comprometan su calidad física y fisiológica y, la intensidad de estos daños, varía de acuerdo con la constitución genética y el vigor de semillas de cada especie (Castro *et al.*, 2016).

El vigor de las semillas ha sido definido como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas

o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas (Salinas *et al.*, 2001).

Diversos estudios indican que el conteo temprano de la emergencia de la radícula durante la prueba de germinación, representa ser la prueba de vigor más rápida y más clara, repetible y reproducible en su metodología, en comparación con otras pruebas de vigor, para predecir el porcentaje de plántulas normales y la tasa de germinación (Matthews *et al.*, 2011; Mavi *et al.*, 2016).

Por otra parte, se ha visto que los lotes de semillas de bajo vigor, emergen más lento y su emergencia es menos uniforme que los lotes de semillas con alto vigor, por lo que, a medida que se avanza en la profundidad de siembra, la emergencia y el porcentaje de germinación de plántulas disminuye (Egli y Rucker, 2012).

Con base en lo anteriormente descrito, esta investigación se desarrolló con el objetivo de determinar la calidad física y fisiológica en 10 colectas de maíz raza Pepitilla; adicionalmente, el vigor de las semillas se evaluó por medio de la prueba de emergencia de la radícula, la imbibición de semillas, y la prueba de profundidad de siembra; con miras a determinar los niveles de calidad de las colectas y, además, identificar aquellas con alto vigor de semilla.

Justificación

En México hay una gran diversidad genética de maíz por sus variados usos y por las características intrínsecas de los materiales nativos que brindan con relación a las variedades mejoradas.

En el estado de Guerrero, el maíz es de suma importancia para la conservación de los recursos fitogenéticos, motivo por el cual, la mayoría de los agricultores siembran por tradición la semilla de maíces nativos que cada ciclo colectan, encontrando así que el maíz Pepitilla es una de las razas de maíz que predominan en Guerrero por su potencial productivo.

No obstante, lo anterior, hasta la fecha no existe información respecto a los niveles de calidad y el vigor de semilla de los maíces nativos del estado de Guerrero, específicamente, sobre la calidad física y fisiológica de la raza Pepitilla de maíz, por lo que, el establecimiento y el desarrollo de variedades mejoradas supone un reto para la obtención de genotipos con alto vigor de semilla y de rendimientos superiores a los registrados.

Derivado de lo anterior, en la presente investigación se realizaron colectas de maíz de la raza Pepitilla para efectuar un estudio sobre la valoración de los atributos físico y fisiológico, así como la implementación de diversas pruebas de vigor para la selección de las poblaciones nativas con potencial de producción de semilla de altos niveles de calidad.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar la calidad física y fisiológica en diez variedades nativas de maíz raza Pepitilla (*Zea mays* L.) del estado de Guerrero.

Objetivo específicos

1. Colecta de grano de maíz de diez variedades nativas de la raza Pepitilla en diferentes localidades de la región Norte del estado de Guerrero.
2. Conseguir semilla de tres variedades mejoradas de la región Norte de Guerrero, como grupo testigo frente a las variedades nativas de Pepitilla.
3. Evaluar la pureza física de los genotipos de Pepitilla y las variedades mejoradas.
4. Determinar el tamaño de semilla de los genotipos mediante las dimensiones de ancho, largo y espesor.
5. Caracterizar físicamente las semillas de Pepitilla y las variedades vegetales.
6. Analizar el comportamiento de la germinación de los 13 genotipos colectados.
7. Caracterización morfológica de plántula de las 10 colectas, más los tres testigos.
8. Evaluar la producción de biomasa de las poblaciones de Pepitilla con relación a las variedades mejoradas
9. Evaluar el vigor de las semillas mediante la prueba de emergencia de radícula.
10. Determinar el vigor de semillas mediante la prueba de imbibición.
11. Evaluar el vigor de semillas mediante la prueba de profundidad de siembra.
12. Identificar y seleccionar las variedades nativas de maíz raza Pepitilla, que por su alta calidad física y fisiológica de semilla pueden considerarse con potencial para establecer un programa de mejoramiento genético.

Hipótesis

- Existen diferencias en calidad física y fisiológica por efectos de variedad en maíz raza Pepitilla.
- Existen diferencias en vigor de semilla por efecto de variedad en maíz raza Pepitilla.

REVISIÓN DE LITERATURA

La importancia y diversidad de maíces nativos en México

El maíz, además de poseer un fuerte contenido socio-cultural, es el alimento básico en nuestro país, consumiéndose de forma tradicional como tortilla (Massieu y Lechuga, 2002).

Desde el punto de vista alimentario, político, económico y social, el maíz es el cultivo más importante del país, cubriendo una superficie agrícola sembrada de 7.31 millones de hectáreas (SIAP, 2022), principalmente en las zonas sub-húmeda tropical, templada húmeda y sub-húmeda (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009).

Los maíces nativos, además de ser parte del patrimonio biocultural de México, son el sustento de miles de familias en las zonas rurales, por lo que su protección y conservación resulta fundamental (Fernández-Suárez *et al.*, 2013). Recientemente se han realizado valiosas investigaciones con el fin de evaluar otras cualidades en las razas nativas.

Vázquez-Carrillo *et al.* (2011) investigaron la aptitud de algunas razas nativas de la región serrana de Sonora para ser usadas en la elaboración de preparaciones culinarias tradicionales, además de la tortilla.

Con base en diversas consideraciones que involucran la importancia de los maíces nativos de México, se expresa que la conservación del germoplasma de los mismos depende fundamentalmente de la protección que se otorgue a los agricultores en pequeña escala a través de subsidios, asesoría técnica y con programas de desarrollo rural planificados y adaptados a las condiciones reales del medio (Kato *et al.*, 2009).

De manera adicional, la revalorización de los usos tradicionales y el impulso estratégico de usos novedosos pueden contribuir notablemente a la conservación *in situ* de los maíces nativos (Fernández-Suárez *et al.*, 2013), por lo que las acciones que se propongan para potenciar el uso de variedades nativas locales deben considerar las barreras propias de la composición y características del grano; las barreras del manejo

poscosecha; las de carácter económico, además de los factores socioculturales (Hellin *et al.*, 2010).

Desde la perspectiva del fitomejoramiento, la gran diversidad de maíces nativos representa un amplio acervo de genes, en el que se pueden encontrar las características adecuadas para el desarrollo de nuevas variedades de alta productividad de grano y forraje (Sánchez-Hernandez *et al.*, 2015).

Potencial productivo de variedades nativas de maíz.

En términos del rendimiento, las variedades mejoradas han mostrado ser notablemente superiores a las nativas, pero los pequeños productores suelen preferir sus variedades locales. Esto se debe a ciertas ventajas que se han identificado en las razas nativas, las cuales en su mayoría se siembran en terrenos edafológicos más limitativos (Turrent-Fernández *et al.*, 2012).

Por su parte, Palemón-Alberto *et al.* (2018) identificaron poblaciones nativas de maíz en la región de la Costa Chica de Guerrero de las razas Vandeño, Olotillo, Tepecintle y Conejo, con un potencial productivo de 2.504 a 4.308 toneladas, aun cuando estas fueron evaluadas en condiciones de lomerío, ladera y tlacolol.

El maíz Pepitilla en el estado de Guerrero

La raza Pepitilla es asociada principalmente al grupo de maíces dentados tropicales, cuya distribución se encuentra principalmente en las regiones intermedias y de baja altitud (CONABIO, 2020a).

Las características distintivas de este maíz son: grano delgado, con terminación en punta afilada en la corona; el endospermo es de tipo harinoso, la aleurona y el pericarpio a menudo son transparentes, y en general, el grano es color blanco marfil. Todas las razas de este grupo presentan adaptación a elevaciones que van desde 0 a 1,700 m, y se caracterizan por espigas ramificadas y largas mazorcas cilíndricas (12–16 hileras) y granos profundamente dentados; no obstante, la raza Pepitilla es una de los seis maíces que se encuentran en peligro de extinción, junto con las razas Jala, Zamorano Amarillo, Vandeño, Zapalote Grande y Motozinteco (Vielle-Calzada y Padilla, 2009).

Las mazorcas de forma cónica de olote delgado con numerosas hileras de granos, alargados y puntiagudos, y cuya similitud es asociada a las pepitas de calabaza, son las principales características de la raza Pepitilla; la cual presenta una gran variación morfológica en caracteres como: grosor de mazorca, número de hileras, tamaño, y color de grano. En análisis de accesiones de esta raza se ha detectado alto contenido proteico (12%) y de aceite (6%). Sus principales usos son para tortilla (se considera que con esta raza se elabora la mejor calidad de tortilla), elote, atole y tamales. Sin embargo, el origen de esta raza no es claro en su totalidad, pero ha sido considerada como una derivación de Palomero Toluqueño con la probable participación de Vandeño (CONABIO, 2020b).

Por su parte, Wellhausen (1952) describe al maíz Pepitilla de la siguiente forma:

a) Planta: medianamente alta, número mediano de hijuelos, hojas numerosas, índice bajo de venación, y adaptación a altitudes intermedias de 1000 – 1700 m.

b) Espiga: largas y con muchas ramificaciones dispuestas a lo largo de más de la tercera parte de la longitud del eje central; ramas secundarias frecuentes y terciarias ausentes.

c) Mazorca (caracteres externos): medianamente largas, gruesas, ligero adelgazamiento uniforme de la base al ápice; con amplio espacio entre las hileras debido a la separación de los miembros de un par de espiguillas, granos muy angostos, delgados y extremadamente largos. El ápice del grano termina en una punta exagerada o pico hasta de 10 mm de longitud que se extiende casi en un ángulo recto del eje principal del grano.

d) Mazorca (caracteres internos): diámetro de la mazorca de 53-55 mm y de olote de 22-28 mm, y longitud del grano de 19-23 mm.

En el estado de Guerrero se han identificado y se cultivan 15 razas puras de maíz, sobresaliendo la raza Pepitilla, principalmente, por las características intrínsecas para la nixtamalización, la cual posee apreciables atributos en la elaboración de tortillas por el método tradicional (Gómez-Montiel *et al.*, 2014). Asimismo, en un estudio en el que se realizaron 63 colectas de parientes silvestres y con un alto número de colectas de maíces criollos agrupados en 11 razas, ubican al estado de Guerrero como parte del Centro de Origen y Centro de Diversidad Genética del maíz Pepitilla (Gómez *et al.*, 2015).

Palemón-Alberto *et al.* (2017) encontraron 0.9% de presencia del maíz Pepitilla al identificar los tipos de maíces sembrados en diversas localidades de la región Tierra Caliente de Guerrero; también expresan la existencia de variantes dentro y entre poblaciones nativas de esta raza.

Se ha visto que la raza Pepitilla presenta una buena adaptabilidad en terrenos accidentados de los estados de Guerrero, en los cuales la frecuencia de producción es del 17%. Esta producción se realiza principalmente en laderas con pendientes pronunciadas y suelos delgados de baja fertilidad; condiciones bajo las cuales la producción de maíces mejorados no presentan buena adaptación y, por lo tanto, producen rendimientos de grano muy bajos; sin embargo, este maíz tiene serios problemas con alturas de planta y mazorca que ocasionan acame, alto porcentaje de plantas improductivas y variación en la coloración de grano, lo cual ocasiona castigos en el precio (Lazos y Chauvet, 2012; Gómez-Montiel *et al.*, 2014).

Aunque el maíz es uno de los cultivos que más se ha investigado y en el que han realizado la mayor parte de los trabajos de mejoramiento genético, no existen suficientes estudios sobre el potencial productivo de las variedades nativas, particularmente sobre la calidad de semilla de la raza de maíz Pepitilla en el estado de Guerrero.

Calidad de semillas

Se ha visto también que la producción de semillas con altos niveles de calidad depende en gran medida de las condiciones ambientales presentes durante el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Miya *et al.*, 2017).

Para lograr obtener rendimientos en campo cada vez mayores, es de suma importancia utilizar semilla de buena calidad, pero además, es necesario dar un seguimiento puntual sobre los factores que inciden en la obtención de éstas, como son: el contenido de humedad, la máxima acumulación de materia seca, y la aparición de la capa negra como indicativo de la madurez fisiológica; lograr altos niveles de calidad en semillas de maíz, puede garantizarse mediante una cosecha en el momento en que se alcanza la madurez fisiológica, lo que promoverá una menor exposición a condiciones ambientales adversas, al ataque de insectos, de hongos, así como la exposición a diversos factores climáticos

que propicien la pérdida de calidad, como la humedad relativa y la temperatura (Ferreira *et al.*, 2013).

Por tanto, se debe tener un especial cuidado de los factores que pueden afectar ésta calidad, incluyendo la constitución genética de cada variedad y el proceso de maduración de las semillas; las técnicas de cosecha, un adecuado almacenamiento, y un efectivo acondicionamiento. Cualquier componente que afecte negativamente la calidad de la semilla, acelera su deterioro, el cual, constituye uno de los mayores factores de pérdidas económicas en la producción agrícola (Carvajal *et al.*, 2017).

La calidad de una semilla está dada por los componentes genético, físico, fisiológico y fitosanitario, que en su conjunto le brindan la capacidad para germinar y desarrollar una plántula normal aún en condiciones ambientales desfavorables. Para ello, el material genético debe contar con una serie de propiedades como la pureza genética, un alto grado de pureza física, viabilidad, germinación, vigor, sanidad, adecuado contenido de humedad, homogeneidad del lote, entre otros; asimismo, para cada atributo que define la calidad de una semilla, existen uno o varios métodos de análisis posibles, los cuales son publicados por la autoridad competente nacional o internacional (Tamborelli, 2021).

Se estima que, con el uso de semillas de calidad, el rendimiento de los cultivos puede oscilar en un incremento de 20 a 30%, pero el suministro de semillas mejoradas presenta algunas limitaciones como la adopción por parte de los productores, así como la disponibilidad de semillas de alto registro (Original) para su multiplicación, lo que consecuentemente fomentaría una mayor oferta de semillas en el mercado (Sapkota y Prakash, 2021).

Calidad física

De acuerdo con Sobukola *et al.* (2013), conocer las propiedades físicas de las semillas constituye una parte esencial durante la evaluación de su calidad, por motivo que con ello es posible el diseño de maquinaria, equipo, y estructuras de almacenamiento y procesamiento; la determinación de estas propiedades como el contenido de humedad, son importantes para la manipulación, el transporte, la clasificación, el secado y el almacenamiento del material vegetal; el tamaño y el peso de las semillas constituye una

parte fundamental para la selección de la maquinaria que promueva una buena separación de acuerdo con el gradiente de masa de las partículas presentes en el lote de semillas.

Por su parte, Carranza-González *et al.* (2022) consideran que el peso de mil semillas es una variable de la calidad física que se ha considerado como parte del proceso de selección de líneas experimentales de trigo, por lo que tener en cuenta este elemento es de suma relevancia para promover un incremento en rendimiento de grano.

La mejora de las propiedades físicas de las semillas puede efectuarse mediante múltiples tratamientos experimentales, entre los que se encuentra la estimulación magnética en la que se ha visto que afecta de manera positiva la calidad física, y por ende su establecimiento, crecimiento, y el rendimiento de grano de maíz en campo. El peso de mil semillas fue la propiedad que presentó un aumento significativo (Afzal *et al.*, 2015).

De manera contrastante, las semillas que son cosechadas con altos valores de contenido de humedad, son más susceptibles al daño mecánico causado, principalmente, por la maquinaria durante la cosecha, el desgrane, y el secado. Por tanto, el aumento progresivo del daño mecánico en las semillas, contribuye a la disminución de su potencial germinativo, y por el contrario, favorece el ataque por hongos e insectos. Ante esto, aunque el daño que reciba la semilla sea mínimo, es acumulativo, y puede comprometer fuertemente la calidad final (Ferreira *et al.*, 2013).

Calidad fisiológica

La calidad fisiológica de la semilla comprende las características que determinan el potencial del comportamiento de las semillas para su establecimiento en campo (Velázquez, 2014); sin embargo, los atributos de calidad pueden verse afectados durante la producción, la cosecha, el beneficio, el almacenamiento y/o el transporte (Méndez *et al.*, 2007).

La germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas están influenciados principalmente por la constitución genética de la especie. Pero la eventual expresión de

estas características se modifica por las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollan los cultivos (Silva *et al.*, 2007).

Algunos estudios describen que el punto en que se obtiene el máximo nivel de calidad fisiológica en semillas de maíz, es cuando tiene cierto porcentaje de humedad y de materia seca, pero estas características varían de acuerdo con el genotipo (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2011). No obstante, resulta necesario enfatizar que tener una semilla con altos niveles de calidad, es indispensable para el buen establecimiento y desarrollo de los cultivos, lo que a su vez resulta de un grado satisfactorio de calidad fisiológica (Sebetha *et al.*, 2015).

Este atributo de calidad es uno de los que inciden sobre la viabilidad de las semillas, estrechamente relacionado con el deterioro, el cual, puede prevenirse mediante un almacenamiento adecuado, ya que los procesos metabólicos de las semillas pueden verse alterados si se almacena en malas condiciones. En este caso, la humedad relativa afecta directamente el contenido de humedad de las semillas, y cuando ésta se combina con altas temperaturas, se intensifica la respiración celular, lo que provoca una humidificación y un sobrecalentamiento de la masa de semillas, pero también la aparición de microorganismos patógenos, que se verá reflejado como la pérdida de peso y un drástico decremento en la germinación, como consecuencia del rápido consumo de las reservas en las semillas (Souza *et al.*, 2016).

Vigor de semillas

De acuerdo con Milosevic *et al.* (2010), las pruebas de vigor pueden ser clasificadas en tres tipos.

1. Pruebas físicas: referente a las características físicas de las semillas como el tamaño y el peso, las cuales se correlacionan de manera directa con el vigor.
2. Pruebas fisiológicas: estas emplean parámetros de germinación y crecimiento, y dentro de estas se consideran aquellas que se llevan a cabo en condiciones controladas y aquellas desarrolladas en condiciones de estrés.
3. Pruebas bioquímicas: estas son realizadas con métodos indirectos para la estimación del vigor de las semillas.

Las pruebas de vigor son una herramienta cada vez más usual en la industria de las semillas para determinar la calidad fisiológica de estas y evaluar o detectar diferencias significativas en su calidad. En el mismo sentido, el vigor está representado por el porcentaje de plántulas normales que germinan bajo condiciones limitantes, diferenciándose del ensayo de germinación, que se conduce en condiciones normales u óptimas (Virginia, 2012).

Estas pruebas de vigor son consideradas por muchos investigadores como las metodologías más apropiadas para evaluar la calidad fisiológica de las semillas, y su potencial para resistir condiciones adversas, sirviendo de complemento a la información obtenida de la prueba de germinación; estas pruebas indican la capacidad de las semillas de resistir condiciones específicas de estrés (Silva *et al.*, 2007).

En relación a los diferentes ensayos de vigor utilizados en maíz, se mencionan la prueba de frío, envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica y de salinidad, como las pruebas de vigor con mayor aplicación a nivel mundial, toda vez que se ha correlacionado con la emergencia de plántulas en campo (Adegbuyi y Burris, 1989; Johnson y Wax, 1981). No obstante, se sugiere que las pruebas de vigor a emplear, sean acordes a las condiciones edáficas y de clima que predominan en la región de interés.

Vigor de semilla por la emergencia de la radícula

La emergencia de la radícula para la especie *Zea mays* L., es una prueba de vigor estandarizada y validada por la International Seed Testing Association (ISTA, por sus siglas en inglés). Esta prueba consiste en recuentos individuales en las radículas de longitud mínima de 2 mm, en condiciones que pueden ser, para el caso del maíz, de 20 °C por 66 horas o 6 días a 13 °C. Los valores obtenidos están estrechamente relacionados con el desempeño de las semillas durante su establecimiento; es decir, con el vigor de semilla (Matthews y Powell, 2011).

No obstante, las diferencias que puedan encontrarse en la tasa de emergencia de radícula, se puede atribuir al tiempo de retraso de la imbibición hasta la emergencia de las radículas y, este retraso se interpreta como el tiempo requerido por las semillas para

la reparación metabólica, previo a la emergencia de la radícula. Este caso resulta consistente en semillas envejecidas o con cierto grado de deterioro (Ozden *et al.*, 2018).

Por su parte, Luo *et al.* (2015), encontraron que los conteos de radículas emergidas revelan diferencias en cuanto al vigor de semillas de maíz. En este caso, el estudio comparó la emergencia de la radícula con otras seis pruebas de vigor, encontrando una relación significativa y un coeficiente de correlación de 0.75. Con ello se sugiere el uso de la prueba de emergencia de la radícula como una prueba de vigor de fácil ejecución.

En este mismo sentido, Onwimol *et al.* (2016) encontraron que los resultados de la curva de germinación acumulada de la emergencia de la radícula y de las plántulas normales coincidieron, pero la curva de plántulas normales fue más larga que la de emergencia de radícula. Por otra parte, Chinnasamy *et al.* (2021) encontraron una alta correlación negativa entre la emergencia de la radícula, de 2 mm, con el tiempo promedio de germinación, concluyendo que el porcentaje de emergencia de la radícula puede ser utilizado como un método fácil y rápido para evaluar la calidad de los lotes de semillas.

Vigor de semilla por la profundidad de siembra

Realizar una siembra profunda es la mejor manera de asegurar que las semillas de maíz absorban el agua suficiente de la capa profunda del suelo y que les permita emerger de manera normal; sin embargo, son pocas las semillas que tienen buena germinación a una profundidad significativa, por lo que resulta necesario promover en las semillas una tolerancia a la siembra profunda, asegurando así el establecimiento de plantas vigorosas y la producción en maíz (Pan *et al.*, 2016).

Hussen *et al.* (2013), reportan que la siembra de maíz a 6 cm de profundidad produjo una emergencia temprana de las plántulas con un 100%, las plantas más altas y el mayor número de hojas por planta; mientras que la profundidad de 12 cm mostró un desempeño pobre en los parámetros evaluados.

Wato (2019), encontró un alto valor de germinación y mayor vigor de plántula en maíz, a una siembra de 5 cm; por el contrario, la profundidad de 15 y 20 cm presentó un menor tamaño de hoja, un bajo número de hojas, y la menor tasa de germinación.

Ante esto se destaca que, realizar una siembra profunda representa una estrategia viable para determinar el vigor de las semillas por múltiples razones. Una de ellas es debida a la evaporación y a la poca presencia de agua en la capa superficial del suelo, lo que lleva a sembrar a profundidades mayores a las convencionales para asegurar que las semillas absorban agua y emerjan satisfactoriamente. Por ello, es necesario promover la tolerancia en la siembra profunda, de manera que la evaluación de las estructuras de las plántulas aporte indicios sobre el vigor de semillas (Zhao y Zhong, 2021).

El mesocotilo y el coleoptilo son dos estructuras principales que tienden a elongarse con facilidad debido a una siembra profunda, y el crecimiento de estos órganos está inducido principalmente por la fotomorfogénesis en condiciones de oscuridad; es decir, el alargamiento del mesocotilo de plántulas etioladas se detiene cuando el fitocromo A detecta la luz roja lejana; pero, la interacción de diversas fitohormonas puede presentar una interacción antagónica o complementaria en el alargamiento de estos órganos, debido a la regulación en la división y elongación celular (Ohno *et al.*, 2018).

Además, la composición genética de la variedad y las condiciones ambientales, influyen de manera directa en la relación entre la longitud del coleoptilo y la altura de la planta, pero aún se requieren más estudios referentes a la profundidad de siembra para comprender el mecanismo detrás de la relación entre la longitud del coleoptilo, la emergencia y el vigor de semillas (Mohan *et al.*, 2013).

Por su parte, Zhao *et al.* (2021) expresa que, para germinar desde una capa de suelo profunda, las semillas de maíz deben presentar alargamiento en algunos órganos, y la contribución de la elongación de estos órganos sobre la capacidad de germinación de las semillas a cierta profundidad, son el mesocotilo, la plúmula y el coleoptilo, siendo la longitud del mesocotilo una de las características principales de éste órgano en respuesta a la profundidad de siembra, por lo que el mesocotilo presenta tolerancia incluso a una siembra profunda de 20 cm.

MATERIAL GENÉTICO Y LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

Genotipos utilizados

Las variedades nativas de maíz empleadas en este estudio fueron de la raza Pepitilla, obtenida de productores del municipio de Cuetzala del Progreso, estado de Guerrero, México. Se efectuaron 10 colectas de grano del maíz antes mencionado, que fueron incrementadas en el ciclo de cultivo primavera-verano del año 2020.

A las variedades de Pepitilla se les asignaron códigos para distinguirlas, de acuerdo con el orden en que se llevó a cabo su colecta. En el Cuadro 1 se muestran las características generales de las colectas realizadas.

Adicionalmente a las colectas, se consiguió semilla de tres variedades mejoradas que mayormente se producen y se comercializan por empresas locales productoras de semilla, con el fin de emplearlas como control. Estas variedades fueron: H-565 (categoría Certificada), VS-535 (categoría Certificada), y V236 P (categoría Declarada).

Todos los genotipos fueron almacenados y conservados en refrigeración a 4.6 ± 2.8 °C con la finalidad de preservar su viabilidad.

Cuadro 1. Listado de los genotipos colectados en el municipio de Cuetzala del Progreso de la región Norte del estado de Guerrero para la evaluación de la calidad física y fisiológica.

No.	Código/Genotipo
1	PEP-2401NS
2	PEP-2402AG
3	PEP-2403AN
4	PEP-2404LS
5	PEP-2405GT
6	PEP-2406GU
7	PEP-2407FI
8	PEP-2408MS
9	PEP-2409GT
10	PEP-2410RP
11	H-565
12	VS-535
13	V236 P

Ubicación del sitio experimental

El análisis de la calidad física, fisiológica y vigor por medio de la emergencia de la radícula fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Semillas, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, a una altitud de 2200 m, en el municipio de Texcoco perteneciente al estado de México; en coordenadas geográficas 19° 27' 54.7" Latitud Norte, y 98° 54' 24.3" Longitud Oeste.

Respecto a la evaluación del vigor de semilla mediante la prueba de profundidad de siembra, esta se estableció en la Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Campus Guadalupe, en Iguala de la Independencia, Guerrero (18° 21' 17.9" LN y 99° 32' 56.4" LO, a 731 m de altitud), en los meses de abril-mayo del 2022.

CAPÍTULO I. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO

1.1 RESUMEN

Conocer las propiedades de las semillas constituye una parte esencial para la evaluación de la calidad y el manejo de las semillas. La calidad física es un atributo por el cual se valoran las características físicas que, en gran parte, son determinantes de la calidad fisiológica, y consecuentemente, en el vigor de las semillas. En este estudio se determinó la calidad física en 10 colectas de maíz raza Pepitilla y tres variedades vegetales, por medio de la pureza física (muestra de trabajo, semilla pura, otras semillas y materia inerte), el tamaño de la semilla (largo, ancho y espesor), y una caracterización física que comprendió: 1) el contenido de humedad, 2) el peso volumétrico, y 3) el peso de 1000 semillas. El proceso de división-homogeneización permitió obtener la muestra mínima de trabajo de 900 g y, a partir de esta, se llevó a cabo el análisis de la pureza física. En general, sólo la población PEP-2403AN cumplió con el porcentaje mínimo de pureza física de 99%. Por el contrario, la colecta PEP-2401NS superó el valor máximo permisible de materia inerte con 1.3%. El componente otras semillas, fue el responsable de que las poblaciones de Pepitilla no alcanzaran el valor mínimo de pureza física, ante esto, sólo el PEP-2403AN presentó menos de 1%. Mientras que, las tres variedades mejoradas se encontraron dentro de los límites permisibles. El tamaño de semilla demostró que el largo del maíz Pepitilla estuvo en un rango de 14.4 a 17.5 mm, mientras las variedades mejoradas fueron más cortas en longitud. La VS-535 mostró el mayor ancho, seguido de la población PEP-2408MS; por su parte, el espesor se encontró en un rango de 3.3 mm – 4.5 mm, destacando nuevamente la VS-535 (4.5 mm). Por su parte, el contenido de humedad se encontró inferior a lo que se estipula en la normativa de 12% para la comercialización de semillas. Referente al peso volumétrico, sólo cuatro poblaciones de Pepitilla mostraron valores mayores a 70 kg/hL, y que fueron similares a los de las variedades mejoradas cuyo rango fue de 72.5 – 74.3 kg/hL; de manera contrastante, el PEP-2409GT y PEP-2410RP tuvieron el menor peso con 64.5 kg/hL y 65.9 kg/hL. Por su parte, el peso de mil semillas mostró una relación inversamente proporcional al peso volumétrico, toda vez que el mayor peso lo obtuvo la población PEP-2405GF con 380.5

g; los Pepitilla PEP-2403AN, PEP-2404LS, y PEP-2408MS, y la variedad VS-535, tuvieron valores superiores a 300 g, pero, el resto de los genotipos tuvo menos de 300 g para esta variable. En suma, la evaluación de la calidad física permitió determinar las colectas de la raza Pepitilla con potencial para la selección de semilla, por medio de los parámetros de pureza física, tamaño de semilla y la caracterización física.

Palabras clave: Pureza física, tamaño de semilla, caracterización física.

1.2 ABSTRACT

The knowledge of seeds properties constitutes an essential part for the quality and handling of seeds evaluation. Physical quality is an attribute of physical characteristics, and they are determinants on physiological quality, consequently, vigor seeds, can be valued. In this study, physical quality was determined in 10 Pepitilla corn populations and three varieties, by physical purity (working sample, pure seed, other seeds, and inert matter), seed size (length, width, and thickness), and a physical characterization by: 1) moisture content, 2) volumetric weight, and 3) a 1000 seed weight. The division-homogenization process allowed us to obtain the minimum working sample of 900 g, and then, the physical purity analysis was done. In general, only PEP-2403AN population had the minimum physical purity percentage of 99%. On the other hand, PEP-2401NS exceeded the maximum value of inert matter with 1.3%. The other seeds component was the reason why Pepitilla collections did not reach the minimum value of physical purity, and, only PEP-2403AN had less than 1%. The three varieties were within the limits of physical purity. Seed size showed a length ranged from 14.4 mm to 17.5 mm in Pepitilla maize, while the varieties were shorter. VS-535 showed the greatest width, followed by PEP-2408MS; in contrast, thickness was found in 3.3 mm to 4.5 mm range, again, VS-535 was the best (4.5 mm). What moisture content refers, it was found to be below 12% marked in regulations for seeds marketing. Regarding volumetric weight, only four Pepitilla collections showed values above 70 kg/L, and this were similarly for those registered in the three varieties in range of 72.5 – 74.3 kg/L; in contrast, PEP-2409GT and PEP-2410RP had the lowest weight with 64.5 kg/L and 65.9 kg/L. The thousand seeds weight appeared as an inversely proportional relationship to volumetric weight, since the highest weight was in PEP-2405GT with 380.5 g; Pepitilla PEP-2403AN, PEP-2404LS, and PEP-2408MS, and VS-535 variety, were above 300 g weight, but the rest of genotypes were less than 300 g. In general, physical quality evaluation allowed us to determine the quality levels of Pepitilla genotypes potentially for seed selection, through physical quality, seed size, and physical characterization parameters.

Key words: Physical purity, seed size, physical characterization.

1.3 INTRODUCCIÓN

La calidad de las semillas es un factor importante que determina el crecimiento y desarrollo de los cultivos para la obtención de buenos rendimientos y una mejor adaptación en diferentes climas y suelos; relaciona los aspectos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios que determinan el potencial para su establecimiento en campo (Velázquez, 2014). Sin embargo, los atributos de calidad pueden verse afectados durante la producción, la cosecha, el beneficio, el almacenamiento y/o el transporte de las semillas (Méndez *et al.*, 2007).

La calidad física es asociada principalmente con la pureza física que separa a la semilla en sus distintos componentes, expresándose como el porcentaje del peso que corresponde a la semilla de la especie, respecto al peso total de la muestra de un determinado lote (DOF, 2018). Este factor es clave para conocer las cualidades físicas de las semillas y, por tanto, su evaluación exige uniformidad en las características físicas intrínsecas del cultivo o la variedad (CIAT, 1991).

En otras palabras, la pureza física es la proporción de cada uno de los componentes físicos presentes en un lote de semillas: semilla pura, semillas de otros cultivos, semillas de malezas, y materia inerte. Al efectuar un análisis de pureza física, éste será determinado por el porcentaje de semilla pura presente en una muestra, de un lote de semillas (Zuniga, 1991).

Otros autores indican que la calidad física de las semillas, además de la pureza física, implica aspectos como el contenido de humedad, el peso de mil semillas, el tamaño de las semillas, y el color. Se hace referencia que el tamaño es fundamental, ya que semillas pequeñas tienden a germinar de manera más rápida, lo que supone un mayor vigor de semilla debido a que completan más rápido los procesos relacionados a la imbibición (Criollo *et al.*, 2000).

Por otra parte, se reporta que el peso de mil semillas es una característica que debe ser considerada en la evaluación de la calidad física, toda vez que se ha visto que el peso de mil semillas, aunado al contenido de humedad y al peso volumétrico, es un factor

relacionado de manera directa con el rendimiento por unidad de superficie (Díaz *et al.*, 2009).

En este capítulo se determinaron las propiedades físicas de las colectas de maíz Pepitilla y de las tres variedades mejoradas, para precisar el nivel de calidad física que guardan entre sí, y la posible selección de características que permitan obtener semilla con altos niveles de calidad.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Evaluación de la calidad física de las semillas

Para la evaluación de la calidad física, se determinaron las características que definen los niveles de calidad de las semillas, como: contenido de humedad, pureza física, tamaño de semilla, el peso volumétrico y el peso de mil semillas.

1.4.1.1 Pureza física

Para el ensayo de la pureza física es necesario tener una muestra de semilla sobre la cual se determinarán las características físicas.

De acuerdo con la International Seed Testing Association (ISTA, 2020), esta evaluación tiene por objeto determinar: 1) La composición porcentual en peso de la muestra analizada y, por inferencia, la composición del lote de semillas, y 2) La identidad de las diversas especies de semillas y partículas inertes que constituyen la muestra.

La metodología para obtener y analizar las muestras de trabajo se ejecutó con base en las directrices de la ISTA (2020, 2021a), y que se detallan a continuación.

1.4.1.1.1 Muestra de trabajo

Del volumen total colectado por cada genotipo, se llevó a cabo un proceso de división y homogeneización en un divisor cónico tipo Boerner Heavy Duty (SeedBuro® Equipment Co.), que cuenta con una serie de deflectores que dirigen la semilla a dos tubos de descarga para finalmente dirigir el material a dos recipientes colectores de semillas.

Esto fue para obtener la muestra de trabajo mínima que se considera de 900 g para el cultivo de maíz, y cuyo proceso general, es:

- 1.- Verter la semilla en la tolva del divisor Boerner.
- 2.- Abrir la válvula para que la semilla que se encuentra en la tolva caiga por efecto de la gravedad y ésta, aleatoriamente, se deposite en las bandejas colectoras.

3.- Elegir una de las dos bandejas colectoras izquierda o derecha y separar la otra para repetir el mismo proceso. Es decir, si se ha seleccionado la bandeja derecha, la que se encontraba en posición izquierda debe apartarse en otro recipiente. Entonces, la semilla de la bandeja derecha será colocada en la tolva del Boerner.

4.- Realizar nuevamente lo estipulado en el paso número dos.

5.- Tomar la bandeja contraria a la que se consideró en el paso número tres, para continuar con el proceso de división-homogeneización, o bien, para comenzar con los análisis respectivos, esto último en caso de haber conseguido el peso mínimo de la muestra de trabajo. Ejemplo: si en el paso tres fue seleccionada la bandeja derecha, y la izquierda fue separada, ahora se tomará la bandeja izquierda y la derecha tendrá que ser apartada.

6.- Repetir el mismo proceso hasta conseguir la muestra de trabajo de 900.0 g.

La separación de los componentes de la muestra se realizó manualmente en una superficie metálica y con ayuda de una aguja de disección. La semilla pura, materia inerte y otras semillas se pesaron en gramos en una báscula de precisión.

1.4.1.1.2 Semilla pura

La semilla pura se refiere a la especie que es encontrada como predominante durante su evaluación.

La regla general para considerar semilla pura es: cariósides completos y quebrados que cuenten con más del 50% de su tamaño original, si esto no se cumple, no debe considerarse como semilla pura. Esta variable se reportó en porcentaje.

1.4.1.1.3 Materia inerte

Como materia inerte se catalogó: 1) Cariósides quebradas con menos del 50% de su tamaño original, y 2) Todas las demás materias (piedras, paja, etc.). Este componente se expresó en porcentaje.

1.4.1.1.4 Otras semillas

En la categoría de otras semillas se incluyeron unidades de semillas de especies de plantas diferentes a la semilla pura, como son semillas de otras variedades, otras especies y malezas; el resultado se registró en valor porcentual.

1.4.1.2 Tamaño de semilla

Las dimensiones para inferir sobre el tamaño de semilla fueron determinadas en la fracción de semilla pura, mediante el largo, el ancho, y el espesor, en cuatro réplicas de 100 semillas que fueron colocadas sobre el escáner de una impresora multifuncional marca HP modelo OfficeJetPro 9010 (1KR46C).

Luego, con ayuda del software ImageJ versión 1.53o se logró calcular las dimensiones referidas (Schneider, 2012). Los datos se reportaron como valor promedio y error estándar de las mediciones.

1.4.1.3 Caracterización física

A partir de la fracción de semilla pura, se estimó el contenido de humedad (CH), el peso de mil semillas (PMS), y el peso volumétrico (PV).

1.4.1.3.1 Contenido de humedad

Se llevó a cabo de acuerdo a las reglas de la ISTA (2021), que consistió en colocar dos repeticiones 5 g de maíz de cada genotipo sobre recipientes metálicos con tapa, y colocados en una estufa de control eléctrico marca Lumistell^{MR} modelo HTP-41 con circulación de aire forzado a una temperatura de 130 ± 2 °C por 4 h.

El contenido de humedad se calculó con base en el peso fresco, mediante la siguiente expresión:

$$CH = \frac{(M2 - M3)}{(M2 - M1)} * 100$$

Dónde:

CH= Contenido de humedad (%)

M_1 = Peso del recipiente (g)

M_2 = Peso del recipiente y su contenido antes del secado (g)

M_3 = Peso del recipiente y su contenido después del secado (g).

1.4.1.3.2 Peso volumétrico

Para esta variable se empleó una balanza volumétrica en cuatro repeticiones de semilla de cada genotipo, y se registró el dato del peso volumétrico en kg/hL para obtener el valor promedio y el error estándar de la media.

1.4.1.3.3 Peso de mil semillas

Con base en la metodología descrita por Moreno (1984), ocho repeticiones de 100 semillas fueron contadas y su peso se registró en una balanza analítica. Posteriormente se obtuvo el peso de 1000 semillas, siempre y cuando el coeficiente de variación fuera inferior a un valor de 4.0.

Los datos obtenidos fueron reportados como valor promedio y error estándar de la media.

1.4.2 Diseño experimental y análisis estadístico

La calidad física se analizó en un diseño completamente al azar, y los análisis de varianza se determinaron a una significancia de $p < 0.05$, con el software R-UCA versión 4.0.5.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Pureza física

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de la pureza física, en la que, los valores de semilla pura (SP) presentaron diferencias entre las colectas de maíz y las tres variedades utilizadas como testigo.

En este sentido, el sistema de México para semilla de maíz en categoría Certificada establece como mínimo 99% de SP (SNICS, 2020). Al respecto, las variedades H-565, VS-535 y V236 P cumplen con el requisito, toda vez que presentaron valores de 99.6, 100, y 99.8%, respectivamente; mientras que de las colectas de maíz Pepitilla solo la PEP-2403AN alcanzó el porcentaje mínimo requerido (99.2%). No obstante, para el resto de las colectas está como alternativa la categoría Habilitada, que contempla un mínimo de SP de 95%, misma que cumplen la mayoría de las poblaciones de Pepitilla, con excepción de la PEP-2406GU en la que se obtuvo 92.7%.

La materia inerte (MI) es otro aspecto fundamental como parte de los criterios y especificaciones de laboratorio del proceso de calificación de semillas, que considera máximo 1%. Para este componente, solo la colecta PEP-2401NS supera el valor máximo permisible (1.3%), mientras, el resto de las variedades se encuentra por debajo del límite. También se observó que el Pepitilla PEP-2408MS obtuvo 1% de MI, no obstante, al no rebasar este valor, la colecta se encuentra dentro de la Regla para la Calificación de Semillas.

Al igual que la MI, el componente OS también considera como límite máximo 1%. En este caso, el PEP-2403AN y las tres variedades testigo cumplen con la disposición, pero inexplicablemente, el Pepitilla PEP-2406GU arrojó 6.4% de OS, lo que significa una posible contaminación física con semillas de otras variedades y/o especies, o inclusive, un mayor grado de contaminación genética. Bajo este supuesto, se encuentran también las poblaciones PEP-2402AG, PEP, 2405GF, y PEP-2407FI en las que se observaron altos valores de OS, en orden de 2.1, 2.7, y 2.5%.

Cuadro 2. Ensayo de la pureza física en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte del estado de Guerrero.

Genotipo	MT (g)	SP (%)	MI (%)	OS (%)
PEP-2401NS	919.9	97.6	1.3	1.1
PEP-2402AG	942.6	97.3	0.6	2.1
PEP-2403AN	920.6	99.2	0.4	0.4
PEP-2404LS	949.3	97.9	0.3	1.8
PEP-2405GF	923.6	97.2	0.1	2.7
PEP-2406GU	951.5	92.7	0.4	6.4
PEP-2407FI	908.3	96.8	0.8	2.5
PEP-2408MS	960.1	97.9	1.0	1.1
PEP-2409GT	966.5	98.2	0.4	1.4
PEP-2410RP	917.9	98.4	0.4	1.2
H-565	920.0	99.6	0.4	0.1
VS-535	948.7	100	0	0
V236 P	981.8	99.8	0.2	0

MT= Muestra de trabajo; SP= Semilla pura; MI= Materia inerte; OS= Otras semillas (incluyendo las semillas de otras variedades).

Las disposiciones normativas en México para la calificación de semillas, aplican únicamente a todo aquél material vegetal en el que ha sido evaluada su distinción, homogeneidad y estabilidad, conforme a metodologías estandarizadas, y que cuenta con un registro ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2020). Por tanto, las colectas de maíz Pepitilla de esta investigación no pueden ser acreedoras de una certificación porque no cuentan con un registro como variedad vegetal; pero, para cumplir con los niveles mínimos establecidos y obtener una semilla de alta calidad, la falta del registro no resulta una limitación.

Manuel *et al.* (2007) reportan valores de pureza física de 99.5% tras nueve meses de conservar semilla de maíz en tenate o silos; por otro lado, Raya *et al.* (2012) no encontraron efectos negativos en la fracción de semilla pura al evaluar la calidad física y fisiológica en función de la densidad de población.

Por su parte, Bonilla (2014) expresa que la limpieza y clasificación de los lotes de semillas mejoran la calidad física debido a la eliminación de los contaminantes físicos que puedan estar presentes. A pesar de que las colectas de Pepitilla no se sometieron a un proceso de limpieza en una máquina de aire zarandas, se encontraron valores aceptables de SP y MI.

Únicamente, los valores de OS fueron los que no permitieron alcanzar el adecuado porcentaje de SP, lo cual, puede ser consecuencia de la falta de limpieza o de una posible contaminación física y/o genética que deriva en la presencia de semillas de otras variedades o de otras especies (Doria, 2010).

1.5.2 Tamaño de semilla

Las diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) registradas en las dimensiones de largo, ancho y espesor de semilla, se muestran en la Figura 1. Indiscutiblemente, las colectas de Pepitilla arrojaron la mayor longitud, con relación a las variedades mejoradas. En este caso, el dato mayor fue del PEP-2403AN con 17.5 mm, mientras que la VS-535 tuvo 11.6 mm; la colecta de menor longitud tuvo un promedio de 14.4 mm, pero incluso, este valor difirió estadísticamente de las variedades mejoradas.

En contraste con el ancho se encontró una mayor variabilidad en los datos. En este caso, el PEP-2409GT de 5.9 mm fue el valor más bajo, de manera contrastante al resto de las colectas. No obstante, la variedad VS-535 (9.7 mm) mostró una relación inversamente proporcional a su longitud; la colecta PEP-2403AN guardó una relación entre la longitud y el ancho de semilla cuyo valor fue de 8.5 mm. El Pepitilla PEP-2405GF presentó el mismo valor que el PEP-2403AN y, con relación a esta colecta, el PEP-2408MS obtuvo 2 mm menos, por tanto, las diferencias estadísticas entre estos últimos tres materiales genéticos mencionados, no fueron significativas.

Por otro lado, no se encontró gran variación en el espesor de semilla de los genotipos, el rango fue de 3.3 a 4.5 mm. Estos resultados pueden identificarse en tres categorías: (1) el genotipo superior, (2) los genotipos con más de 4 mm de espesor y (3) los genotipos con menos de 4 mm de espesor. Se observó el mayor grosor de semilla en la variedad sintética VS-535 (4.5 mm), el cual demostró superioridad al resto de genotipos. Los materiales genéticos que tuvieron un espesor con más de 4 mm, fueron: PEP-2403AN (4.0 mm), PEP-2404LS (4.0 mm), PEP-2405GF (4.2 mm) y V236 P (4.2 mm); para un grosor inferior a 4 mm, se registraron siete colectas de Pepitilla y el híbrido H-565.

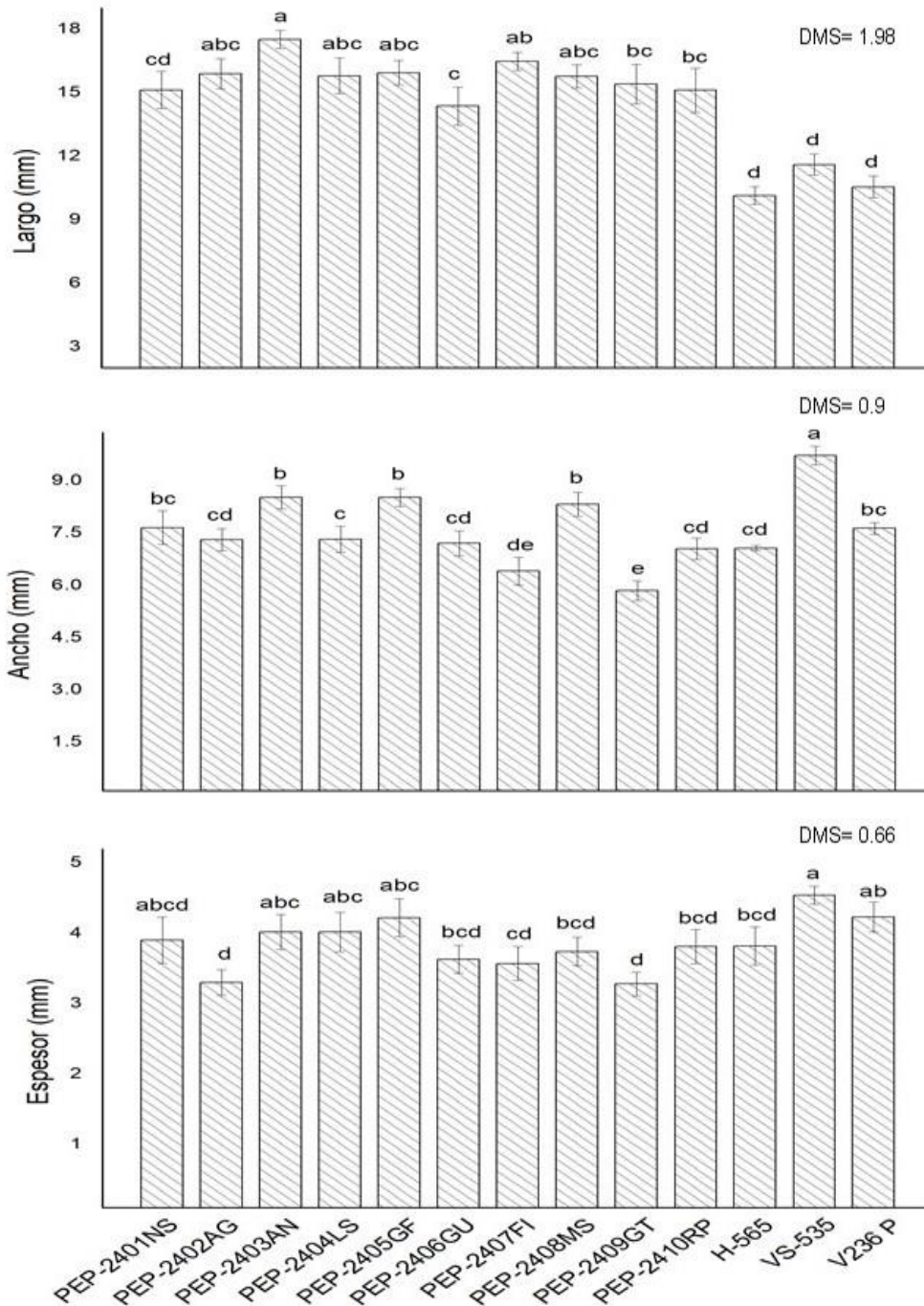


Figura 1. Dimensiones físicas de semilla de 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte de Guerrero. Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media.

Estos resultados indican que las semillas de Pepitilla son grandes en longitud, pero delgadas, mientras que las variedades mejoradas presentan semillas cortas, pero de mayor grosor. Ordóñez *et al.* (2012) registraron valores de 12, 8, y 5 mm de largo, ancho

y espesor, respectivamente, en semilla de maíz con humedad de 17.1%. Comparando estos resultados con los datos del Cuadro 2, se detecta una similitud entre ellos, con excepción de la longitud, donde las colectas de Pepitilla son superiores.

Otra publicación en la que se determinó el TS de maíces criollos pigmentados de la región Costa Chica de Guerrero, muestra una longitud de 9.97 mm y 10.09 mm en genotipos morado y amarillo, respectivamente (Ramírez *et al.*, 2020). Pero, el ancho de semilla del maíz morado presentó un valor de 9.88 mm, el cual es ligeramente superior a lo que se reporta en este estudio. Por otro lado, Pérez *et al.* (2006) encontraron longitudes de 10, 11, 12, 13 y 14 mm en diferentes variedades de maíz, y un ancho de 7 – 8 mm; en la mayoría de los materiales analizados el espesor fue de 4 mm.

1.5.3 Caracterización física

La caracterización física de los materiales evaluados exhibió diferencias estadísticas en las tres variables y, principalmente, en el PMS (Cuadro 3). Los genotipos se mantuvieron en refrigeración durante el desarrollo del experimento, lo que asegura condiciones homogéneas para la toma de datos que, en el caso particular del CH, mostró un rango de humedad de 8.3 - 10.1% y, aunque el dato superior fue de 10.1% en la VS-535, este valor es consistente en cuanto al máximo permisible de humedad para el comercio de semillas que es de 12% (SNICS, 2020).

En general, la humedad que se registró en este estudio estuvo comprendida en dos grupos principales. El primero, en el que el CH fue menor o igual a 8.4%, se encontraron los Pepitilla PEP-2402AG, PEP-2407FI y PEP-2408MS; el segundo grupo concentró al resto de los genotipos, con una humedad que oscila de 8.8 a 9.5%.

El CH de los genotipos evaluados se mantuvo por debajo del valor recomendado de 12% para su almacenamiento (SNICS, 2020), lo que permite que el material vegetal pueda ser empleado con doble propósito como grano y semilla. Pero, es necesario contar con métodos de almacenamiento que permitan mantener niveles de CH sin alteraciones, por periodos mayores a un año, a fin de evitar la pérdida de germinación a causa del deterioro natural de la semilla (Magdaleno-Hernández *et al.*, 2020). Los datos de humedad de semilla observados en este estudio fueron menores a los reportados por Manuel *et al.*

(2007), quienes tuvieron un promedio de 11.0 a 11.4%. Este factor es considerado uno de los principales causantes del deterioro de las semillas, ya que a medida que aumenta el CH hay una mayor reducción en la germinación debido al incremento en la respiración celular (Rincón y Molina, 1990).

En cuanto al PV, hubo genotipos que tuvieron mayor peso respecto de otros. Tal caso fue el de las variedades mejoradas cuyas diferencias estadísticas fueron no significativas entre sí, con valores de 74.3 kg/hL, y dos de ellas con 72.5 kg/hL. No obstante, hubo poblaciones nativas que presentaron valores similares al de las variedades mejoradas como el PEP-2401NS (72.1 kg/hL), PEP-2405GF (71.3 kg/hL), PEP-2407FI (70.7 kg/hL) y PEP-2402AG (70.1 kg/hL); contrario a esto, el menor PV se encontró en los Pepitilla PEP-2409GT y PEP-2410RP con 64.5 kg/hL y 65.9 kg/hL, respectivamente.

Con relación al PMS, el mayor peso (380.5 g) corresponde al Pepitilla PEP-2405GF, seguido de la VS-535 (347.5 g). Además de estos genotipos, tres poblaciones presentaron un valor superior a los 300 g (PEP-2403AN, PEP-2404LS y PEP-2408MS). Mientras que el Pepitilla PEP-2406GU y la variedad V236 P fueron dos de los materiales genéticos en los que el PMS fue de los menores valores registrados con 239.5 y 239.6 g, en cambio, el H-565 presentó un PMS de 208.2 g, comportamiento inverso al de su PV.

Los datos del PV reportados en el Cuadro 3 son inferiores a los encontrados por Pérez *et al.* (2006) quienes obtuvieron como mínimo 73.9 kg/hL, mientras el máximo fue de 85.5 kg/hL. Asimismo, García-Rodríguez *et al.* (2018) reportan un PV de 74.7 kg/hL para un tamaño chico de semilla, y de 76.1 kg/hL para semilla de tamaño mediano. Cabe recalcar que los investigadores emplearon material genético de variedades mejoradas, lo que puede ser causa que el PV es mayor al encontrado en este estudio, toda vez que, la semilla utilizada para esta investigación, comprende a una raza de maíz cuyo PV se encuentra en los valores encontrados; no obstante, es posible que, mediante trabajos de mejoramiento genético se pueda lograr incrementar el PV.

Cuadro 3. Caracterización física de 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte de Guerrero.

Genotipo	CH (%)	PV (Kg/L)	PMS (g)
PEP-2401NS	8.8 ± 0.1 cde	72.1 ± 0.3 b	277.3 ± 3.4 e
PEP-2402AG	8.4 ± 0.01 def	70.1 ± 0.5 cd	297.9 ± 2.2 d
PEP-2403AN	9.0 ± 0.1 bc	68.0 ± 0.7 ef	326.8 ± 2.1 c
PEP-2404LS	8.9 ± 0.1 c	69.7 ± 0.3 de	332.1 ± 2.0 c
PEP-2405GF	9.1 ± 0.1 bc	71.3 ± 0.8 bc	380.5 ± 4.1 a
PEP-2406GU	9.0 ± 0.2 c	67.3 ± 0.2 fg	239.5 ± 2.1 g
PEP-2407FI	8.3 ± 0.1 f	70.7 ± 0.8 bcd	277.8 ± 3.9 e
PEP-2408MS	8.3 ± 0.2 ef	69.0 ± 1.2 def	332.7 ± 2.7 c
PEP-2409GT	8.8 ± 0.2 cd	64.5 ± 1.1 h	259.0 ± 3.4 f
PEP-2410RP	9.2 ± 0.4 bc	65.9 ± 0.2 gh	272.9 ± 2.6 e
H-565	9.0 ± 0.1 bc	74.3 ± 0.3 a	208.2 ± 0.7 h
VS-535	10.1 ± 0.01 a	72.5 ± 0.3 ab	347.5 ± 4.6 b
V236 P	9.5 ± 0.2 b	72.5 ± 0.2 ab	239.6 ± 2.5 g
DMS	0.46	1.85	8.69

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media. CH= Contenido de humedad; PV= Peso volumétrico; PMS= Peso de mil semillas.

En contraste con lo anterior, un estudio realizado por Salinas *et al.* (2013), en el que evaluaron las características físicas de diferentes razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropical y sub-tropical del estado de Oaxaca, registró valores de peso hectolítrico que van en un rango de 75.1 a 80.7 kg/hL, mismos que indiscutiblemente son superiores a los que se reportan en el Cuadro 3; sin embargo, ninguno de los genotipos utilizados en los estudios descritos con antelación, corresponden a la raza Pepitilla, como es el caso de Vázquez *et al.* (2003) quienes además de emplear diversas poblaciones nativas de maíz, analizaron nueve accesiones de la raza Pepitilla provenientes del estado de Guerrero, obteniendo un PV de 69.4 kg/hL, mismo que concuerda con los resultados de esta investigación.

Por otro lado, el PMS es una variable cuyo valor depende de factores como el tipo, la composición y la dureza del grano. La literatura reporta que el peso de 1000 semillas de híbridos de maíz producidas por diversas microempresas para el Valle de México, osciló de 288.4 hasta 361.2 g y, en variedades de maíz para forraje, de 272.0 a 427.9 g (Virgen-Vargas *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2006).

1.6 CONCLUSIONES

La mayoría de las poblaciones nativas no cumplieron con los estándares de calidad respecto a la pureza física. Esto a consecuencia de que el material vegetal colectado fue originalmente en grano y las condiciones de almacenamiento no fueron en su totalidad las adecuadas. De acuerdo con las dimensiones de las semillas, se observó que el grano de Pepitilla es largo y delgado. Por otra parte, el PMS y el PV no están totalmente relacionados, ya que, a mayor TS, hay un mayor PMS, pero a mayor TS hay un menor PV; por otro lado, el contenido de humedad no presentó alteraciones que superen el nivel máximo permisible.

CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO

2.1 RESUMEN

La calidad fisiológica de las semillas comprende las características que determinan el potencial germinativo para su establecimiento en campo; no obstante, éstas pueden verse afectadas en cualquier etapa del proceso de producción y por consecuencia demeritar su calidad. El presente Capítulo tuvo como objetivo evaluar la calidad fisiológica de 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla de la región Norte estado de Guerrero, y que fueron comparadas con las variedades mejoradas H-565, VS-535, y V236 P fungiendo como grupo Control, por medio de la germinación, el vigor de plántula, el diámetro de la plúmula, y la producción de biomasa. Los resultados permitieron observar las poblaciones sobresalientes en cuanto a porcentaje de germinación, plántulas anormales, semillas muertas, y viabilidad total, destacando los Pepitilla PEP-2402AG y PEP-2403AN, cuyos valores fueron en orden de 97%, 2%, 1%, y 99%; y 94%, 3%, 4%, y 97%. Sólo cinco Pepitilla presentaron valores de germinación por arriba del 90%, mientras el resto fue por debajo de este valor. En cuanto a las variedades mejoradas, sólo el H-565 mostró buena calidad fisiológica (90% de germinación). Para el vigor de plántula, se observó una mayor longitud de raíz principal en el genotipo PEP-2405GF con 19.1 cm, mientras el PEP-2402AG resultó con 13.0 cm de longitud en raíz principal y 6.8 raíces secundarias; por otra parte, se encontró la misma longitud de mesocotilo en el PEP-2401NS y la V236 P con 1.7 cm y, referente al coleoptilo, hubo una mejor expresión en el PEP-2407FI (4.8 cm), seguido de la VS-535 (4.4 cm). La mayor longitud de nomófilos se registró para la colecta PEP-2406GU. En cuanto al diámetro de plúmula, las colectas que registraron el mayor grosor fueron PEP-2408MS, PEP-2405GF, y PEP-2403AN, con valores respectivos de 2.9 mm, 2.8 mm, y 2.8 mm. Para la biomasa, la VS-535 tuvo el mayor peso fresco de raíz (306.7 mg) y, en cuanto al peso seco de ese mismo órgano, esa misma variedad fue uno de los cuatro genotipos con mejor resultado (44 mg), y siendo superado por las colectas PEP-2408MS (47 mg), PEP-2405GF (46.6 mg), y PEP-2402AG (45.5 mg). De manera contrastante, el PEP2401NS registró el mayor contenido de materia seca de raíz con 22.8%. En cuanto a la parte

aérea, el Pepitilla PEP-2403AN fue superior al resto de los genotipos en peso fresco y seco, con valores en orden de 645.8 mg y 67 mg. Finalmente, el valor más alto de contenido de materia seca de la parte aérea se registró en el PEP-2405GF con 13.5%. Estos resultados permitieron identificar, por medio de algunos caracteres, los niveles de calidad fisiológica de las colectas de maíz raza Pepitilla, como una oportunidad para la selección de semilla con miras a un programa de mejoramiento genético observando los aspectos relacionados al vigor.

Palabras clave: Porcentaje de germinación, vigor de plántula, diámetro de plúmula, producción de biomasa.

2.2 ABSTRACT

Seeds physiological quality englobes characteristics which determines seed germination potential for its establishment in field; however, these can be affected in the production process at any stage, and consequently diminish their quality. In this Chapter, we evaluated the physiological quality of 10 maize Pepitilla collections from the North region of Guerrero state, and we compared them with H-565, VS-535, and V236 P varieties as a Control, by measuring germination, seedling vigour, plumule diameter, and biomass production. We observed through the results the best Pepitilla populations, in terms of germination percentage, abnormal seedlings, dead seeds, and total viability, so, PEP-2402AG and PEP-2403AN gave values in order of 97%, 2%, 1%, and 99%; and 94%, 3%, 4%, and 97%. Only five Pepitilla showed germination above 90%, while the others were below this. Regarding the varieties, only H-565 has an acceptable physiological quality (90% germination). For seedling vigour, the longest main root was registered in PEP-2405GF genotype with 19.1 cm, while PEP-2402AG had 13.0 cm length and 6.8 secondary roots. On the other hand, mesocotyl length was the same for PEP-2401NS and V236 P with 1.7 cm and, for the coleoptile, PEP-2407FI had the best result (4.8 cm), followed by VS-535 (4.4 cm). A greatest nomophils length was recorded for Pepitilla PEP-2406GU. For plumule gross, PEP-2408MS, PEP-2405GF, and PEP-2403AN registered respective values of 2.9 mm, 2.8 mm, and 2.8 mm. For biomass, VS-535 had the highest root fresh (306.7 mg), and this variety was one of the four genotypes with the best results in terms of dry weight (44 mg), overtaken by PEP-2408MS (47 mg), PEP-2405GF (46.6 mg), and PEP-2402AG (45.5 mg). In contrast, PEP-2401NS recorded the highest root dry matter content with 22.8%. For the aerial part, Pepitilla PEP-2403AN was superior to the rest of genotypes in fresh and dry weight, with values in order of 645.8 mg and 67 mg. Finally, PEP-2405GF with 13.5% was the best value registered of dry matter content in aerial part. These results allowed us to identify the physiological quality levels of Pepitilla maize populations by means of some characters, as an opportunity for seed selection to a genetic improvement program, regarding aspects related to vigour.

Key words: Germination percentage, seedling vigour, shoot diameter, biomass production.

2.3 INTRODUCCIÓN

La calidad fisiológica implica la capacidad de la semilla para producir material de propagación fisiológicamente viable, con respecto al total de la muestra de un lote (DOF, 2018). Esta se determina mediante la germinación para valorar la proporción de plántulas normales, plántulas anormales y semillas muertas, lo que, a su vez, guarda una relación estrecha con la integridad de las estructuras de las membranas y los procesos fisiológicos que le permiten a la semilla mantener altos niveles de germinación y viabilidad (Antuna *et al.*, 2003).

Las evaluaciones relacionadas con la calidad fisiológica son esenciales en el control de calidad, y para predecir el comportamiento de los cultivos en el campo, por lo que, utilizar semillas de alta calidad fisiológica es un factor importante en el establecimiento de cualquier cultivo (Araméndiz-Tatis *et al.*, 2017).

Sin embargo, la calidad de las semillas tiende a disminuir con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende, en gran parte, de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo que permanezcan almacenadas. El primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas (Salinas *et al.*, 2001).

Los factores del ambiente tienen gran influencia en el desarrollo y la calidad de las semillas, igualmente, el ambiente en el cual las plantas se desarrollan y completan su ciclo de vida, puede incidir sobre la calidad de la semilla. Por tanto, las evaluaciones de la calidad de la semilla permiten diferenciar y seleccionar los mejores progenitores para la formación de híbridos o nuevas variedades, así como los ambientes más adecuados para su producción (Raya *et al.*, 2012).

La información sobre la calidad fisiológica de semillas de las razas de maíz es escasa; no obstante, se reporta que algunos problemas en la producción de semillas tienen sus raíces en el fitomejoramiento, debido a que los programas se enfocan a mejorar caracteres relacionados con el rendimiento, sin considerar criterios de selección para los

caracteres relacionados con producción de semillas, los cuales pueden ser considerados durante el mejoramiento (Rodríguez-Guzmán *et al.*, 2000).

Aunque el maíz es uno de los cultivos agrícolas que más se ha investigado, no existen suficientes estudios sobre el potencial de las poblaciones nativas para la producción de semilla, particularmente, sobre la calidad fisiológica de la raza Pepitilla. Ante esto, el presente Capítulo se enfoca en la evaluación de la calidad fisiológica de 10 colectas de maíz raza Pepitilla, y como control las variedades mejoradas H-565, VS-535, y V236 P, con el objetivo de determinar los niveles de calidad de cada población nativa y detectar aquellos genotipos con un vigor de semilla adecuado con miras a su utilización en un programa de mejoramiento genético.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas

La calidad fisiológica de las poblaciones nativas de maíz pepitilla se determinó mediante la prueba de germinación.

2.4.1.1 Germinación

El objeto del análisis de germinación es determinar el potencial de germinación de un lote de semillas que puede, a su vez, ser utilizado para comparar la calidad de los distintos lotes y también estimar la densidad de siembra en campo (ISTA, 2021).

Esta evaluación se realizó por el método entre papel con cuatro réplicas de 50 semillas de cada genotipo, en toallas de papel Anchor que previamente fueron remojadas en agua destilada.

Luego, el papel fue enrollado y colocado sobre bolsas plásticas, y éstas a su vez, se mantuvieron dentro de cajas sandwicheras para asegurar que se mantuvieran en posición erecta.

Los tratamientos fueron aleatorizados y colocados en una cámara de germinación (SeedBuro® Equipment Co.) a una temperatura de 25°C durante 7 días con luz blanca las 24 horas. Transcurrido el periodo de incubación, todos los rollos fueron extraídos de la cámara y las plántulas se valoraron de acuerdo con los criterios de la ISTA (2021).

2.4.1.1.1 Porcentaje de germinación

Para el porcentaje de germinación, éste se consideró bajo el criterio de la ISTA (2021) que contempla la emergencia y el desarrollo de las plántulas hasta un estado donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica si hay posibilidad o no de que se desarrolle en un futuro, dando una planta satisfactoria bajo condiciones favorables en campo.

Este porcentaje se calculó mediante el recuento de las plántulas normales que contempla tres clasificaciones: 1) plántulas intactas: plántulas con todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas y sanas; 2) plántulas con defectos leves: plántulas que

muestran ciertos defectos leves en sus estructuras esenciales, siempre que tengan un desarrollo satisfactorio y balanceado comparable al de las plántulas intactas del mismo análisis; y 3) plántulas con infección secundaria: plántulas en las que es evidente que habrían sido como una de los dos ejemplos anteriores pero que se han visto afectadas por hongos o bacterias procedentes de fuentes distintas a la semilla que le dio origen.

La germinación se calculó con la fórmula:

$$PG = \left(\frac{NPN}{50} \right) * 100$$

Donde:

PG= Porcentaje de germinación

NPN= Número de plántulas normales

2.4.1.1.2 Plántulas anormales

Se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales y/o aquellas que no lograron emerger. La determinación se efectuó mediante la fórmula siguiente:

$$PA = \left(\frac{NPA}{50} \right) * 100$$

Dónde:

PA= porcentaje de plántulas anormales

NPA= número de plántulas anormales

2.4.1.1.3 Semillas no germinadas

Para esta variable fueron consideradas aquellas semillas en las que no hubo indicios de la presencia de la radícula ni emergencia de coleoptilo. Su estimación se realizó por medio de la siguiente fórmula:

$$SNG = \left[\frac{NSSG}{50} \right] * 100$$

Dónde:

SNG= semillas no germinadas

NSSG= número de semillas sin germinar

2.4.1.1.4 Viabilidad total

Esta se consideró como la sumatoria de las plántulas normales con las plántulas anormales. Se estimó por medio de la ecuación:

$$VT = \left[\frac{PN + PA}{50} \right] * 100$$

Dónde:

VT= Viabilidad total

PN= plántulas normales

PA= plántulas anormales

2.4.1.2 Vigor de plántula

El vigor de plántula se consideró con base en la valoración de las diferentes estructuras de las plántulas que permitieron identificar su potencial para crecer y desarrollarse de manera satisfactoria. Para su evaluación se realizaron las siguientes mediciones:

2.4.1.2.1 Longitud de raíz principal

Con ayuda de una regla se tomó medida de la longitud de la raíz principal de las plántulas, tomando como base la inserción de la raíz principal con la semilla, hasta el ápice de la misma. Estos datos se reportaron en cm.

2.4.1.2.2 Longitud de raíces secundarias

La longitud de raíces secundarias fue considerada únicamente de la raíz que fuera representativa del resto de las raíces.

Referente a esta variable, se consideró como raíces secundarias a todas aquellas que derivaron de la semilla (seminales), así como aquellas raíces coronarias o adventicias que provienen del mesocotilo.

De acuerdo con una valoración visual, se tomó el dato sólo de aquella raíz que fuera representativa de todo el grupo de raíces secundarias. El dato se registró en cm.

2.4.1.2.3 Número de raíces secundarias

Se cuantificó el número de raíces secundarias que desarrolló cada plántula, y se reportó el dato como el número promedio.

2.4.1.2.4 Longitud de mesocotilo

Esta medición se representó en centímetros, a partir del punto de inserción en la raíz, hasta la división con el coleoptilo.

2.4.1.2.5 Longitud de coleoptilo

Desde la intersección mesocotilo-coleoptilo, hasta el ápice del coleoptilo, fue considerada esta variable para luego expresar los resultados en cm.

2.4.1.2.6 Longitud de nomófilos

Las hojas, botánicamente llamadas nomófilos, representan cierto grado de desarrollo de las plantas y, en este caso, se consideró su longitud como un componente del vigor de plántula para el establecimiento de un valor que permita una mejor discriminación en cuanto a la calidad de semillas.

Este dato se registró en cm, y fue tomado desde el ápice del coleoptilo hasta el ápice de la última hoja con lígula desarrollada.

2.4.1.3 Diámetro de plúmula

El diámetro de la plúmula se realizó con la ayuda de un vernier digital Digital Caliper ± 0.01 mm. La medición se realizó por encima de la intersección mesocótilo-coleóptilo, y se reportaron los datos en mm.

2.4.1.4 Producción de biomasa

Para cuantificar la producción de biomasa, las plántulas provenientes de la evaluación de vigor de plántula fueron seccionadas en dos partes: raíz y parte aérea.

Luego de esto, se tomó de manera individual los pesos frescos. Después, los tejidos (raíz y parte aérea) se colocaron en bolsas de papel Kraft para llevarse a un secado en un horno de control eléctrico Lumistell^{MR} modelo HTP-41 a temperatura de 75 ± 2 °C durante 72 h, de acuerdo con la metodología descrita por Pérez *et al.*, 2007.

Una vez terminado el tiempo de secado, se procedió a tomar el registro de los pesos secos de la raíz y la parte aérea, para estimar la proporción de materia seca producida, con relación al peso inicial (en fresco).

En este sentido, los valores de peso fresco y seco de la parte aérea y de la raíz fueron reportados en miligramos, mientras que, el contenido de materia seca, tanto de la parte aérea como de la raíz, se expresó en valores porcentuales.

2.4.2 Diseño experimental y análisis estadístico

Los análisis de varianza (ANDEVA) se efectuaron a un nivel de significancia de alpha de 0.05, bajo un diseño completamente aleatorizado.

En el caso de los datos cuya expresión fue en porcentaje, se aplicó una transformación de raíz cuadrada para luego realizar los ANDEVA y la determinación de la diferencia mínima significativa con el software R-UCA versión 4.0.5.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Germinación

La germinación es el mejor indicador para aseverar si una semilla es o no de buena calidad fisiológica, porque demuestra su potencial para emerger y desarrollar sus estructuras esenciales de manera satisfactoria al momento de su establecimiento. En este sentido, la población PEP-2402AG presentó el valor más alto con 97%, seguido PEP-2403AN con 94%, en contraste con el resto de los genotipos; no obstante, se encontró que, de todos los materiales genéticos evaluados, solo cinco poblaciones de maíz Pepitilla y la variedad mejorada H-565, presentaron una germinación mayor o igual a 90%, que se puede interpretar como una buena calidad fisiológica. Contrario a lo anterior, la colecta PEP-2405GF y la variedad V236 P mostraron una germinación inferior a 90% (82 y 81%, respectivamente), siendo la variedad mejorada la de más baja calidad de semilla (Cuadro 4).

En cuanto a la variable plántulas anormales, las colectas de maíz Pepitilla presentaron valores aceptables, inferiores al 10%, con excepción de PEP-2405GF y PEP-2408MS en cuyas plántulas hubo 12% de anormalidades. De manera similar al PG, los genotipos PEP-2402AG y PEP-2403AN sobresalen por la presencia de un porcentaje muy bajo de PA (2 y 3%, respectivamente). Por el contrario, se observaron valores de PA muy altos en las variedades mejoradas VS-535 (13%) y V236 P (17%).

Las semillas sin germinar (SSG) son un componente indispensable al momento de la evaluación visual de la germinación, en virtud de que indica la imposibilidad de su germinación, demeritando así la calidad de las mismas. Mediante esta valoración, se detectaron los genotipos susceptibles a presentar altos valores de SSG, así como aquellos cuyo comportamiento es prácticamente cero. Tal es el caso del PEP-2402AG, PEP-2408MS y PEP-2410RP en los que solo se encontró 1 y 3%, en ninguno de los casos, las SSG alcanzaron el 10%. Solo las colectas PEP-2406GU y PEP-2409GT mostraron porcentajes altos de SM con 8 y 7%, respectivamente.

La viabilidad total (VT) de las semillas se determina, de manera rápida, con el empleo de cloruro de tetrazolio. En este estudio se consideró la VT como la suma del PG y PA. Se

observó que todos los genotipos presentaron un comportamiento donde ninguno de los valores fue igual o inferior a 90%. El Pepitilla PEP-2402AG (99%) fue superior al resto de las colectas, e incluso superior a las variedades mejoradas; no obstante, las variedades presentaron una VT de 98%. Siguiendo esta tendencia, las poblaciones PEP-2403AN, PEP-2408MS y PEP-2410RP tuvieron un valor de 97% que se considera aceptable para esta variable.

La prueba de germinación estándar es una técnica común para determinar la calidad fisiológica de un lote de semillas; pero, debido que esta prueba se realiza bajo condiciones controladas, se sobreestima el comportamiento de las semillas y no resulta suficiente para discriminar los lotes que presentan uniformidad en cuanto a su germinación (García-López *et al.*, 2016). Vilora y Méndez (2007) destacan que el tamaño y la forma de la semilla pueden ser factores que influyen en la germinación; no obstante, hay genotipos que presentan altos niveles de germinación como consecuencia de un intrínseco alto vigor de semilla, tal es el caso de las poblaciones de Pepitilla que brindaron un PG mayor a 90% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Calidad fisiológica mediante la prueba de germinación en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero.

Genotipo	PG (%)	PA (%)	SSG (%)	VT (%)
PEP-2401NS	89 ± 1.4 bcd	5 ± 1.6 de	7 ± 2.1 abc	93 ± 2.1 cd
PEP-2402AG	97 ± 1.3 a	2 ± 1.1 e	1 ± 1.0 e	99 ± 1.0 a
PEP-2403AN	94 ± 3.0 ab	3 ± 1.3 de	4 ± 2.1 de	97 ± 2.1 ab
PEP-2404LS	90 ± 3.1 bcd	6 ± 1.7 cd	5 ± 1.8 abcd	95 ± 1.8 abcd
PEP-2405GF	82 ± 2.4 ef	12 ± 1.2 ab	7 ± 2.1 abcd	93 ± 2.1 bcd
PEP-2406GU	84 ± 3.6 def	9 ± 2.4 bcd	8 ± 2.3 a	92 ± 2.3 d
PEP-2407FI	91 ± 1.7 abc	4 ± 1.1 de	6 ± 1.3 abc	95 ± 1.3 bcd
PEP-2408MS	87 ± 3.2 cde	12 ± 2.2 abc	3 ± 1.3 bcde	97 ± 1.3 abc
PEP-2409GT	89 ± 2.0 bcd	4 ± 1.3 de	7 ± 1.3 ab	93 ± 1.3 cd
PEP-2410RP	91 ± 1.3 abc	6 ± 1.3 bcd	3 ± 1.0 bcde	97 ± 1.0 abc
H-565	90 ± 2.4 bcd	9 ± 1.9 bcd	2 ± 1.1 de	98 ± 1.1 ab
VS-535	85 ± 3.2 cdef	13 ± 2.9 abc	3 ± 1.3 cde	98 ± 1.3 ab
V236 P	81 ± 3.2 f	17 ± 3.7 a	3 ± 1.3 cde	98 ± 1.3 ab
DMS	6.3	5.5	3.5	4.5

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. PG= Porcentaje de germinación; PA= Plántulas anormales; SSG= Semillas sin germinar; VT= Viabilidad total.

Desde otro punto de vista, Magdaleno-Hernández *et al.* (2020), indican que el detrimento de la germinación de las semillas ocurre como consecuencia de cambios fisiológicos, bioquímicos y físicos, como la degradación de las membranas y el aumento de la respiración celular. Esto resulta coherente para explicar los valores bajos de germinación que se encontraron en algunos genotipos utilizados en esta investigación (PEP-2405GF y PEP-2406GU), ya que, durante su producción, cosecha y/o almacenamiento, pudieron ocurrir diversos procesos que provocaron un deterioro natural y, por consiguiente, una disminución en el potencial germinativo.

Por otra parte, las plántulas anormales son aquellas que germinaron, pero presentaron anomalías en el desarrollo de sus estructuras esenciales debido a la presencia de genes deletéreos, o con infecciones de tipo primarias provenientes de la semilla (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005; Musito *et al.*, 2008). Al respecto, un estudio que evaluó 35 poblaciones nativas de maíz del estado de Tabasco, encontró una diferencia significativa de plántulas anormales de 1.3 a 44% en poblaciones con diferente proporción de endospermo vítreo, y SM de 1.3 a 61.3% (Guillén-De la Cruz *et al.*, 2018).

El caso de las SSG, son aquellas semillas embebidas que no presentaron germinación debido a daños estructurales o pérdida de viabilidad, por lo que en condiciones de campo se presentaría una baja densidad de población (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005). En este mismo sentido, se ha detectado que las semillas deterioradas ocasionan una reducción de plántulas normales, un aumento de anomalías en las plántulas (> 7%), y altos porcentajes de SSG que pueden ir de 12 a 78%, como consecuencia de daños fisiológicos que afectan la síntesis de macromoléculas, en la división celular, y la función e integridad de las membranas, provocando con esto último, la liberación de una mayor cantidad de electrolitos (Durán-Hernández *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2013).

Al igual que Pérez *et al.* (2006), en este estudio se consideró como VT la suma de las plántulas normales con las anormales. En ese caso, los investigadores registraron la menor VT con 92%, mientras el dato mayor fue de 99%. Sus resultados son consistentes con los de esta investigación en los que, para el caso de las variedades mejoradas, la VT fue del 98%, mientras que algunas poblaciones de Pepitilla se encontraron en un rango de 95 a 99%.

2.5.2 Vigor de plántula

El vigor de plántula, es un concepto que involucra la evaluación de los órganos y las estructuras desarrolladas por las plántulas que, de manera gradual, puede llevar a una mejor comprensión del vigor de semilla. En este estudio se tomaron en cuenta las partes de raíz y de parte aérea, sobre las cuales se obtuvieron los datos que se muestran en el Cuadro 5. Para la LRP, los resultados mostraron una mayor longitud en el Pepitilla PEP-2405GF con 19.1 cm, mientras que la raíz de la variedad V236 P presentó un menor desarrollo (15.1 cm) en comparación con el resto de los genotipos. También, se vio un buen comportamiento en el crecimiento de la raíz principal de las colectas PEP-2402AG y PEP-2404LS en las que hubo longitudes de 18.6 cm y 18.8 cm, respectivamente.

Se consideró como LRS aquella que fuera representativa de las raíces secundarias producidas, incluyendo las raíces seminales y adventicias o coronarias. El genotipo cuya raíz secundaria presentó mayor longitud fue el PEP-2402AG (13.0 cm), así como también, una mayor producción de raíces secundarias con promedio de 6.8 raíces. Otros materiales que destacaron en LRS son PEP-2401NS (12.0 cm) y PEP-2410RP (12.1 cm) y, en cuanto al NRS, solo el PEP-2410RP mostró una buena producción con 5.0 raíces.

Así como en la LRP, la colecta PEP-2405GF tuvo una cantidad considerable de raíces secundarias (5.9); seguida de las colectas PEP-2407FI y PEP-2403AN en las que el NRS fue en orden respectivo de 4.8 y 4.6; el híbrido H-565 presentó la menor LRS y el menor NRS (8.1 cm y 2.3 raíces).

El mesocotilo fue determinado a partir de la base con la semilla hasta la intersección con el coleoptilo. De este modo, se detectó que, de todos los genotipos, la colecta PEP-2408MS tuvo el mesocotilo más corto (0.8 cm), mientras, el PEP-2401NS y la variedad V236 P, tuvieron una mayor elongación para esta estructura con 1.7 cm. El resto del material vegetal tuvo una LM en un intervalo de 1.1 a 1.5 cm.

En lo que refiere al coleoptilo, este se determinó del punto de inserción con el mesocotilo hasta su ápice. En general, los genotipos presentaron un comportamiento similar, cuyos valores de LC oscilaron de 3.3 a 3.6 cm; no obstante, algunos genotipos presentaron mayor longitud como fue el caso de PEP-2401NS y PEP-2403AN (3.7 cm) y, PEP-

2402AG y PEP-2405GF (3.8 cm). El material vegetal superior para esta variable, fue PEP-2407FI con 4.8 cm de longitud, seguido de la variedad VS-535 con 4.4 cm, mientras la colecta PEP-2406GU presentó un menor desarrollo para esta estructura (3.1 cm).

Los resultados muestran que algunos genotipos tienen la capacidad de promover hojas más grandes que las longitudes de 10.1 cm, 10.2 cm, y 10.8 cm (PEP-2404LS, PEP-2410RP y PEP-2406GU, respectivamente); por otra parte, hay genotipos en que la LN máxima fue de 7.2, 7.8, 7.9 y 8.0 cm, como en PEP-2405GF, VS-535, H-565, PEP-2407FI y V236 P, respectivamente.

El vigor de plántula considera elementos esenciales como el porcentaje de germinación, la longitud de la parte aérea y la longitud de la raíz, que le permiten a las plantas establecerse y desarrollarse en una amplia gama de suelos y ambientes (Teruel *et al.*, 2008). De manera tradicional, el vigor de plántula es evaluado por medio de un índice que es el producto del porcentaje de emergencia y la longitud de la plántula, aunque, estudios recientes contemplan evaluar estructuras como la parte aérea, el mesocotilo, el coleoptilo, la raíz principal y el número de raíces secundarias, para obtener mayor información sobre el vigor de plántula (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2007; Espinosa-Paz *et al.*, 2017).

Cabe señalar que no hay una definición específica sobre el vigor de plántula, por lo que durante su evaluación puede haber aspectos que arrojen suficiente información para establecer una escala que permita identificar a los genotipos por su potencial intrínseco de producir plántulas sanas y de buen tamaño. Existen reportes en genotipos de maíz sobre longitud de raíz primaria, con valores de 6.9, 14.8 y 16.6 cm, y una media de 7.5 raíces secundarias (Biasutti y Galiñanes, 2001). Por otra parte, hay registros que indican que, en maíces criollos bajo estrés hídrico, la radícula se desarrolló sólo de 2.5 cm hasta 10 cm; asimismo, el mesocotilo y el coleoptilo mostraron un crecimiento máximo de 1.7 cm y 5.2 cm, respectivamente (Espinosa-Paz *et al.*, 2017).

Cuadro 5. Vigor de plántula mediante características morfológicas de la raíz y de la parte aérea en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte de Guerrero.

Genotipo	LRP (cm)	LRS (cm)	NRS	LM (cm)	LC (cm)	LN (cm)
PEP-2401NS	15.9 ± 0.7 bc	12.0 ± 0.9 ab	3.9 ± 0.4 ab	1.7 ± 0.10 a	3.7 ± 0.1 bc	9.9 ± 0.3 abc
PEP-2402AG	18.6 ± 1.2 ab	13.0 ± 1.0 a	6.8 ± 0.8 a	1.1 ± 0.04 de	3.8 ± 0.2 b	8.7 ± 0.4 cde
PEP-2403AN	16.6 ± 0.9 abc	11.1 ± 0.8 abc	4.6 ± 0.5 a	1.2 ± 0.09 bcd	3.7 ± 0.2 bc	8.3 ± 0.4 def
PEP-2404LS	18.8 ± 0.9 ab	9.1 ± 1.4 bc	3.3 ± 0.7 bcd	1.4 ± 0.10 abc	3.6 ± 0.1 bc	10.1 ± 0.5abc
PEP-2405GF	19.1 ± 0.6 a	10.0 ± 0.6 abc	5.9 ± 0.7 a	1.2 ± 0.12 cd	3.8 ± 0.2 b	7.2 ± 0.5 f
PEP-2406GU	16.6 ± 0.9 abc	11.1 ± 1.1 abc	3.0 ± 0.4 bcd	1.1 ± 0.07 cd	3.1 ± 0.1 c	10.8 ± 0.9 a
PEP-2407FI	17.2 ± 1.2 abc	11.9 ± 0.8 ab	4.8 ± 0.6 bcd	1.1 ± 0.03 cd	4.8 ± 0.4 a	8.0 ± 0.6 ef
PEP-2408MS	16.2 ± 0.9 abc	11.5 ± 0.6 ab	4.4 ± 0.5 a	0.8 ± 0.04 e	3.6 ± 0.1 bc	9.6 ± 0.6 abcd
PEP-2409GT	17.3 ± 1.1 abc	8.9 ± 1.4 bc	4.5 ± 1.0 a	1.3 ± 0.11 bcd	3.6 ± 0.1 bc	8.9 ± 0.4 bcde
PEP-2410RP	17.8 ± 1.1 abc	12.1 ± 0.8 ab	5.0 ± 0.7 bc	1.3 ± 0.11 bcd	3.4 ± 0.1 bc	10.2 ± 0.4 ab
H-565	17.1 ± 1.1 abc	8.1 ± 1.2 c	2.3 ± 0.4 cd	1.3 ± 0.06 bcd	3.3 ± 0.1 bc	7.9 ± 0.2 ef
VS-535	17.1 ± 0.9 abc	10.9 ± 1.1 abc	3.1 ± 0.4 cd	1.5 ± 0.11 ab	4.4 ± 0.3 a	7.8 ± 0.3 ef
V236 P	15.1 ± 1.0 c	11.3 ± 0.8 abc	3.8 ± 0.4 cd	1.7 ± 0.10 a	3.5 ± 0.2 bc	8.0 ± 0.4 ef
DMS	3.04	3.17	1.81	0.32	0.62	1.36

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. LRP= Longitud de raíz principal; LRS= Longitud de raíz secundaria; NRS= Número de raíces secundarias; LM= Longitud de mesocotilo; LC= Longitud de coleoptilo; LN= Longitud de nomófilos.

Por otra parte, Teruel *et al.* (2008), registran un promedio en longitud de 9.2 cm de raíz primaria y de 3.4 raíces secundarias. Los datos de este último reporte son inferiores a los que se muestran en el Cuadro 5, por tanto, las colectas de Pepitilla en esta investigación fueron sobresalientes. Adicionalmente, Montes (2014), enfatiza que las mediciones del mesocotilo, coleoptilo, y parte aérea, son de suma importancia para establecer el vigor de plántula, y que están presentes en las etapas de germinación, emergencia, y establecimiento en campo. Estas variables, a su vez, están determinadas por factores como la calidad fisiológica de la semilla, la temperatura, y el tipo de suelo, ya que las condiciones de oscuridad favorecen la elongación del mesocotilo.

Estos caracteres de vigor de plántula y de semilla se deben a la acción de efectos maternos genéticos aditivos, por lo que son afectados de manera significativa por el progenitor femenino utilizado en la producción de semillas (Cervantes *et al.*, 2006). En el caso del sistema radical, este comprende raíces embriogénicas que se forman durante la embriogénesis, y raíces post-embriogénicas que se desarrollan una vez iniciada la germinación. En el proceso de raíces post-embriogénicas participan los genes *rtcs* y *rtcl* involucrados en la transducción de señales de auxinas que controlan la iniciación, el desarrollo, y el alargamiento de raíces seminales y raíces coronarias; pero en situaciones de estrés hídrico, el gen *rtcs* suprime su formación (Hochholdinger *et al.*, 2018). Ello puede dar respuesta del porqué en este estudio se encontró, en algunas colectas de Pepitilla, la presencia de raíces primarias y secundarias más largas, así como una mayor producción de raíces secundarias.

Por su parte, la elongación del mesocotilo se asocia a señales genéticas y ambientales, pero esencialmente a la profundidad de siembra y, debido a la diversidad genética del maíz, algunos genotipos han logrado desarrollar mesocotilos de mayor longitud que son capaces emerger al sembrarse a profundidades mayores. El mecanismo genético que promueve el alargamiento del mesocotilo es la poliploidía somática que produce células más grandes; fisiológicamente, se sugiere que la luz regula el suministro de auxinas del coleoptilo para movilizarlas e inducir el crecimiento del mesocotilo (Sáenz Y Cassab, 2021), el cual, presenta una extrema sensibilidad a la luz, por lo que su elongación puede ser inhibida, incluso, con una pequeña cantidad y tiempo de exposición (Niu *et al.*, 2020).

En la presente investigación, la prueba de germinación se realizó con fotoperiodo de 24 horas; por tanto, la presencia de bajos valores de LM del Cuadro 5, pudo ser a causa de una inhibición en su crecimiento por la constante iluminación.

2.5.3 Diámetro de plúmula

Otro aspecto determinante para el vigor de semilla, es el grosor de la plúmula que, posterior a su establecimiento en campo, puede representar la consistencia del tallo. En este caso, la colecta PEP-2408MS mostró el mayor grosor de plúmula con 2.9 mm, contrario con el diámetro de 2.2 mm que se observó en el PEP-2409GT (Figura 2). También, se hace énfasis en los Pepitilla PEP-2403AN y PEP-2405GF, cuyo grosor fue de 2.8 mm, siendo estadísticamente igual a la colecta PEP-2408MS, la cual tuvo el mayor DP. Contrario a lo esperado, las tres variedades mejoradas presentaron una plúmula raquílica con 2.3 mm de grosor y, por tanto, puede inferirse, aunque no definitivo, un bajo vigor de semilla.

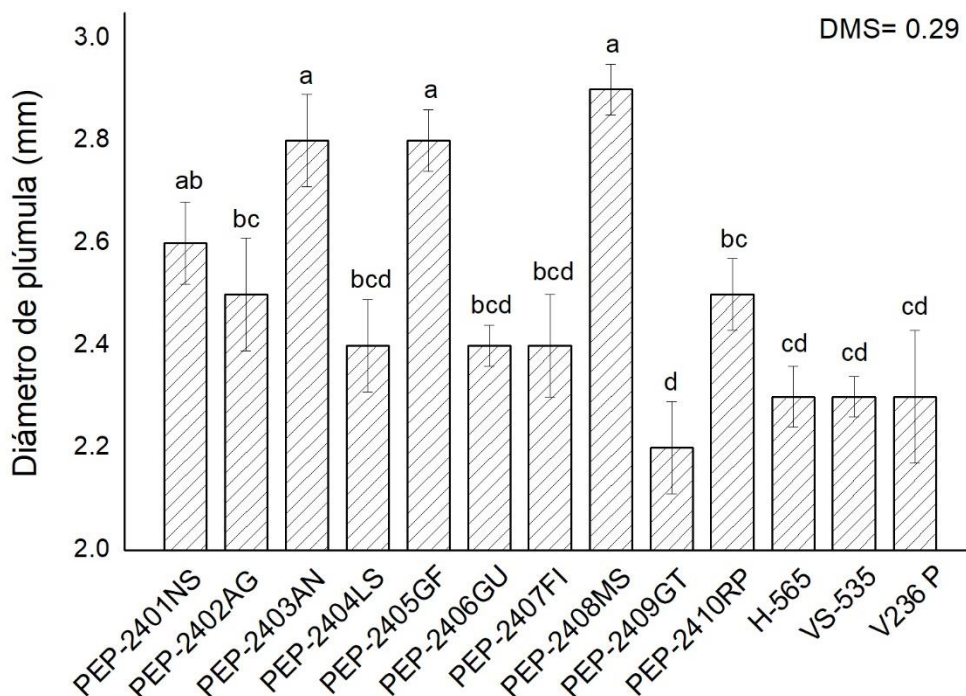


Figura 2. Diámetro de la plúmula como estimador del vigor de plántula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades vegetales de la región Norte de Guerrero. Medias con letra diferente en las barras son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media.

En investigación realizada por Bolívar *et al.* (2007), quienes emplearon semillas de maíz mejorado, encontraron diferencias en cuanto al DP en plántulas de maíz evaluadas a los 16 días después de siembra con un rango de 2.7 a 3.3 mm, asimismo, Blanco *et al.* (2015) obtuvieron un diámetro de 3.02 mm al evaluar el efecto de las arvenses sobre la calidad de las semillas, en tanto que, Tucuch-Haas *et al.* (2016), expresan que la aplicación de ácido salicílico no mejoró el diámetro de plúmula en maíz criollo y, el promedio registrado, quedó de 2.3 mm.

En el presente estudio se consideró el diámetro de la plúmula como componente adicional del vigor de la plántula, pues se considera que este factor influye de manera directa en el diámetro del tallo, y con ello, la posibilidad de seleccionar genotipos deseables.

2.5.4 Producción de biomasa

Con relación a la producción de biomasa, los pesos que se presentan en el Cuadro 6, muestran diferencias estadísticamente significativas para las secciones de raíz y de parte aérea, así como en el contenido de materia seca ($p < 0.05$). Indiscutiblemente para el PFR, la variación en peso fue amplia (130.0 – 306.7 mg) entre los genotipos; tal es el caso de la colecta PEP-2401NS en la que se obtuvo 130 mg por plántula, siendo el más bajo para esta variable; en el mismo sentido, el híbrido H-565 tuvo un PFR de 191.7 mg, que también fue uno de los más bajos, mientras que el valor más alto lo tuvo la variedad VS-535 con 306.7 mg.

Al igual que en el PFR, el peso seco de raíz (PSR) muestra amplia variación (19.3 – 47 mg); destacando las colectas PEP-2408MS, PEP-2405GF, PEP-2402AG, y la variedad VS-535, en tanto que PEP-2401NS y H-565 tuvieron los pesos más bajos. Cabe señalar que la variedad VS-535, con el mayor peso para PFR, tuvo uno de los mayores pesos secos con 44.8 mg.

El contenido de materia seca fue considerado como parte fundamental de la valoración del vigor de semilla, por motivo que indica la cantidad de biomoléculas que fueron sintetizadas, en relación al contenido de agua en el tejido celular. Ante esto, se detectaron genotipos con buen vigor de semilla por el contenido de materia seca

acumulada. Para la raíz, los genotipos que tuvieron mejor concentración de materia seca fueron el PEP-2401NS con el 22.8% y el PEP-2408MS con 21.1%. De igual forma, la colecta PEP-2406GU fue una de las que mayor CMSR obtuvo (19.9%). Nuevamente destaca el hecho de que, la variedad mejorada V236 P, presentó 8.7% de CMSR, el cual fue inferior al resto de los genotipos.

En lo que concierne a la parte aérea, se aprecia que la colecta PEP-2403AN presenta el PFPA superior con 645.8 mg, seguido del PEP-2404LS con 593.3 mg. De manera general, se hace notar que seis genotipos están en el rango de producción de 510.8 a 575 mg, comparativamente con cinco variedades, cuyo PFPA fue menor a los 500 mg/plántula. También, se destaca que la variedad V236 P presentó, estadísticamente, el menor PFPA (415 mg), y que fue consistente con el resultado del PSPA en el que, la misma variedad mejorada presentó también un valor de peso seco significativamente bajo (39.1 mg).

Por otro lado, la población PEP-2403AN mostró un comportamiento similar al PFPA, por lo que, con 67 mg de peso seco, fue la que produjo una mayor cantidad de biomasa. No obstante, las poblaciones PEP-2402AG, PEP-2408MS, PEP-2405GF y PEP-2404LS, mostraron una buena producción de PSPA, en un rango de 61.2 a 63.8 mg por plántula; pero la diferencia estadística entre estas poblaciones no fue significativa.

Un segundo grupo con un rango del PSPA entre 54.7 – 59.5 mg la conforman los materiales genéticos PEP-2406GU, PEP-2407FI, VS-535, PEP-2401NS y PEP-2409GT. Por otro lado, solo tres genotipos tuvieron una producción menor a los 50 mg (PEP-2410RP, H-565 y V236 P). En cuanto al CMSPA, los valores no fueron distintos; empero, sí hubo diferencias estadísticas ($p < 0.05$) que posicionan al Pepitilla PEP-2405GF como la población superior en cuanto a la acumulación de materia seca (13.5%) y, los genotipos PEP-2410RP, V236 P, y H-565 como los de menor CMSPA, con resultados, respectivamente, de 9.7, 10.2, y 10.3%. El resto de los materiales fueron un grupo intermedio en cuanto al contenido de materia seca, que osciló de 10.7 hasta 12.4%. Además del Pepitilla PEP-2405GF, las poblaciones PEP-2407FI, PEP-2406GU, y la variedad VS-535, tienen potencial para la acumulación de materia seca, en virtud de que su CMSPA fue mayor al 12%.

Cuadro 6. Producción promedio de biomasa por plántula de la raíz y la parte aérea en 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte, Guerrero.

Genotipo	PFR (mg)	PSR (mg)	CMSR (%)	PFPA (mg)	PSPA (mg)	CMSPA (%)
PEP-2401NS	130.0 ± 13.9 e	26.5 ± 0.9 de	22.8 ± 2.2 a	513.3 ± 20.0 bcde	58.6 ± 3.2 abc	11.6 ± 0.7 ab
PEP-2402AG	270.0 ± 15.6 ab	45.5 ± 2.8 a	17.5 ± 1.6 bcd	555.0 ± 29.2 bc	63.8 ± 3.1ab	11.7 ± 0.6 ab
PEP-2403AN	253.3 ± 23.1 abc	33.6 ± 1.5 c	14.6 ± 1.6 d	645.8 ± 34.8 a	67.0 ± 2.3 a	10.8 ± 0.8 ab
PEP-2404LS	252.5 ± 13.2 abc	36.1 ± 2.2 bc	14.5 ± 0.8 d	593.3 ± 36.0 ab	61.2 ± 2.5 ab	10.7 ± 0.6 ab
PEP-2405GF	236.7 ± 20.6 bcd	46.6 ± 3.1 a	20.6 ± 1.4 ab	485.0 ± 39.8 cdef	61.3 ± 4.9 ab	13.5 ± 1.5 a
PEP-2406GU	205.8 ± 25.8 cd	32.6 ± 3.0 cd	19.9 ± 3.7 abc	459.2 ± 26.6 def	54.7 ± 4.5 bcd	12.4 ± 1.3 ab
PEP-2407FI	259.2 ± 24.3 abc	41.5 ± 1.1 ab	17.4 ± 1.5 bcd	534.2 ± 41.6 bcd	57.6 ± 5.1 abc	12.0 ± 1.7 ab
PEP-2408MS	230.8 ± 15.9 bcd	47.0 ± 3.9 a	21.1 ± 2.0 ab	575.0 ± 39.2 abc	63.4 ± 4.5 ab	11.5 ± 1.0 ab
PEP-2409GT	254.2 ± 24.7 abc	35.3 ± 2.8 bc	15.2 ± 1.7 cd	535.8 ± 35.1 bcd	59.5 ± 3.9 abc	11.7 ± 1.2 ab
PEP-2410RP	250.0 ± 22.6 bc	31.7 ± 1.9 cde	13.8 ± 1.6 de	510.8 ± 23.6 bcde	48.7 ± 2.0 cde	9.7 ± 0.5 b
H-565	191.7 ± 8.9 d	25.4 ± 1.4 ef	13.7 ± 1.3 de	430.8 ± 19.8 ef	44.5 ± 2.4 de	10.3 ± 0.2 b
VS-535	306.7 ± 24.9 a	44.8 ± 2.0 a	16.1 ± 0.8 bcd	500.0 ± 27.7 cdef	58.4 ± 2.9 abc	12.1 ± 1.0 ab
V236 P	228.3 ± 18.4 bcd	19.3 ± 1.7 f	8.7 ± 2.0 e	415.0 ± 38.2 f	39.1 ± 4.4 e	10.2 ± 1.7 b
DMS	56.1	6.54	5.16	90.8	10.2	2.8

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. PFR= Peso fresco de la raíz; PSR= Peso seco de la raíz; CMSR= Contenido de materia seca de la raíz; PFPA= Peso fresco de la parte aérea; PSPA= Peso seco de la parte aérea; CMSPA= Contenido de materia seca de la parte aérea.

Los resultados del Cuadro 6 no son acordes con lo que se reporta en la literatura, ya que están por debajo de los reportados por otros autores. Tal es el caso de Fallas *et al.* (2011), quienes encontraron que el PSR en plántulas de maíz en etapa fenológica V5 y V7, fue de 0.1 y 0.6 g. Esto se debió a que la cuantificación la realizaron a los 22 y 36 días posteriores a la siembra y, los datos del Cuadro 6, corresponden a una evaluación efectuada a los siete días. Por otro lado, Tadeo-Robledo *et al.* (2010) mencionan que, para el caso de plántulas de maíz variedad Oro Ultra, el promedio de peso fresco fue de 3.65 g, y el de peso seco de 1.43 g. Sin embargo, los autores no mencionan si sus valores corresponden a un conjunto de plántulas o a plántulas individuales

No obstante, los datos de PSPA y PSR son superiores a los que reportan Zepeda *et al.* (2002), quienes registraron PSPA de 1.47, 1.86 y 2.24 g, y para raíz de 0.64, 0.92 y 1.53 g, en unidades experimentales de 50 semillas. Por tanto, al realizar la estimación de peso seco por plántulas individuales, se observa que para la parte aérea corresponden valores de 29.4 mg como mínimo y 44.8 mg como máximo; en la raíz, el dato inferior fue de 12.8 mg, y el mayor de 30.6 mg. Este último, de 30.6 mg, es el único que concuerda con los resultados de este estudio.

Se ha reportado también que el peso seco aéreo y el peso seco de raíz son parte del conjunto de las variables más importantes que deben ser consideradas al evaluar la calidad fisiológica de las semillas, y para predecir su establecimiento en campo, pues, esta mayor acumulación es asociada a semillas de mayor tamaño y con mayor cantidad de sustancias de reserva, dando como resultado plántulas más grandes y con mayor capacidad para concentrar materia seca, debido a una alta producción de energía en forma de ATP por el elevado contenido de proteínas en las mitocondrias (Pérez *et al.*, 2006).

Retomando lo anterior, la variación entre el contenido de materia seca, respecto a los pesos frescos y secos, puede explicarse, en el caso de la raíz de las plántulas de la variedad V236 P, a que las células estaban constituidas, en su mayoría, por altos niveles de agua que propiciaron una baja acumulación de sustancias de reserva, y por ende, un bajo contenido de materia seca.

2.6 CONCLUSIONES

En la germinación se identificaron las colectas de maíz Pepitilla con mayor PG, menor cantidad de PA, y menos SSG. Mediante la valoración de las diferentes estructuras de las plántulas se puede discernir sobre aquellas variables que indican un mejor vigor de plántula. Con el diámetro de plúmula es posible realizar una mejor discriminación de genotipos con alto vigor de plántula. Mientras que en la producción de biomasa, los pesos frescos y secos de la parte aérea y de la raíz mostraron diferentes comportamientos de los genotipos durante su desarrollo en etapas tempranas; sin embargo, el contenido de materia seca sirvió de complemento para una mejor comprensión sobre la calidad de las semillas y para la selección de semillas de alto vigor.

CAPÍTULO III. VIGOR DE SEMILLA MEDIANTE LA EMERGENCIA DE LA RADÍCULA Y LA IMBIBICIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO

3.1 RESUMEN

En este estudio se evaluaron 10 poblaciones de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas como grupo Control, por medio de la emergencia de radícula y la imbibición de semillas, con el objetivo de vislumbrar el potencial de la raza Pepitilla en promover una emergencia más rápida para su establecimiento en campo en las zonas de temporal de Guerrero. En esta prueba de vigor se consideró el porcentaje de protrusión, la emergencia de radícula, las semillas no germinadas, y la longitud de radícula. Adicionalmente, se efectuó la prueba de imbibición y del porcentaje de semillas con ruptura de testa. Los resultados de la prueba de vigor mostraron en las colectas de Pepitilla una protrusión en rango de 73 a 94%; en las variedades mejoradas fue de 69 – 94%. En la variedad VS-535 se registró la menor protrusión (69%), mientras la población PEP-2402AG y el híbrido H-565 tuvieron el mayor valor con 94% en ambos casos. No se detectó gran variación en los resultados de la variable emergencia de radícula en las 10 colectas, destacando que PEP-2401NS, PEP-2402AG, PEP-2406GU y PEP-2410RP arrojaron el mismo resultado obtenido en la protrusión; es decir, ninguno de estos genotipos produjo una radícula menor a 2 mm. Caso contrario ocurrió con la variedad V236 P, que tuvo una reducción del 50% en esta variable, con relación al porcentaje de protrusión. Los PEP-2402AG y H-565 arrojaron solo 6% de semillas no germinadas. La longitud de radícula fue mayor hasta casi tres veces en la raza Pepitilla (en rango de 7.8 – 11.2 mm), que en las variedades mejoradas (en rango de 1.9 – 3.8 mm). A las 36 h de efectuada la prueba de imbibición, la variedad V236 P tuvo la mayor absorción de agua (49.8%) y, VS-535 (44.4%) y H-565 (42.4%) fueron los genotipos con menor absorción. Las poblaciones nativas presentaron altos valores de ruptura de testa. En general, se detectó que la raza Pepitilla tiene buen vigor de semilla por la rápida emergencia de radícula y la promoción de una mayor longitud para esta estructura.

Palabras clave: Estimación del vigor, protrusión, semillas no germinadas, longitud de radícula, imbibición de semillas.

3.2 ABSTRACT

In this study, we evaluated 10 maize Pepitilla populations and three improved varieties as Control group, by radicle emergence vigor and seed imbibition tests, with the aim to determine the potential of Pepitilla in promoting a faster emergence for its establishment in the field in the temporary areas of Guerrero state. In this vigour test, we considered the protrusion percentage, radicle emergence, non-germinated seeds, and radicle length. In addition, the imbibition test and the percentage of seeds with testa rupture were registered. Results of vigour test showed a protrusion in range of 73 to 94% in the Pepitilla collections; for the improved varieties, it was 69 – 94%. In VS-535 variety, the lowest protrusion was recorded (69%), while population PEP-2402AG and the hybrid H-565 took in both the highest value with 94%. In radicle emergence results, we did not detected huge difference in the 10 collections, but PEP-2401NS, PEP-2402AG, PEP-2406GU and PEP-2410RP had the same result as obtained in protrusion, so none of these genotypes produced a radicle smaller than 2 mm. Otherwise, V236 P variety had a 50% reduction in this variable, in relation to protrusion percentage. For non-germinated seeds, PEP-2402AG and H-565 showed only 6%. The radicle length was bigger almost three times in Pepitilla landrace (in the range of 7.8 – 11.2 mm), than the varieties (in the range of 1.9 – 3.8 mm). At 36 h after the imbibition, V236 P variety had the highest water absorption (49.8%), and VS-535 (44.4%) and H-565 (42.4%) were the genotypes with the lowest absorption. In contrast, the native populations presented high values of testa rupture, with respect to the three improved genotypes. In general, it we detected that Pepitilla landrace has a good seed vigor due to the rapid emergence of the radicle and the promotion of a greater length for this structure.

Key words: Vigour estimation, protrution, non-germinated seeds, radicle length, seed imbibition.

3.3 INTRODUCCIÓN

Existe un amplio número de pruebas de laboratorio que se utilizan para estimar el vigor de semillas, que varían en complejidad y, además, se basan en diversos fundamentos fisiológicos que brindan la información necesaria para inferir sobre la condición de deterioro de los lotes de semillas analizados; todas las pruebas de vigor permiten identificar y seleccionar aquellos genotipos con un grado adecuado de vigor, a fin de inferir su comportamiento al momento de la siembra, como en el caso de la prueba de vigor de emergencia de radícula (Gallo *et al.*, 2017).

La prueba de emergencia de radícula se considera el método más fácil y rápido para determinar la tasa de germinación de cualquier lote de semillas, que desde el año 2016 se encuentra validado por la ISTA para diversas especies, incluyendo el maíz (Ozden *et al.*, 2017).

Algunos autores indican que las diferencias en el tamaño de las plántulas en las pruebas de vigor, pueden tener su origen en la propagación durante los primeros signos de germinación, como la aparición de la radícula a través del pericarpio. Para el caso de maíz, se han detectado diferencias en el vigor por medio de la emergencia de radícula (2 mm), que estaban relacionadas con el crecimiento de las plántulas a las 54 h después de establecida la prueba (Matthews y Khajeh-Hosseini, 2007).

Por otra parte, Ermis *et al.* (2015) sugieren que un conteo temprano de emergencia de radícula puede ser empleado como un método fácil y rápido para la evaluación del vigor, y que permite clasificar a los lotes de semilla para predecir su potencial de emergencia de plántulas.

Se ha considerado que los tratamientos pre-germinativos (acondicionamiento en agua) a las semillas antes de la siembra, aceleran el proceso de germinación y también se reduce el consumo de agua en campo; por lo general se usan plaguicidas, pero estos aumentan los costos de producción, y pueden dejar residuos peligrosos en el ambiente y/o en los granos que son utilizados para consumo. Ante esto, se sugiere que la imbibición controlada con soluciones osmóticas o con agua destilada, tiene potencial

para acelerar la germinación de las semillas sin dejar residuos tóxicos en las mismas y en el suelo (Joya-Dávila *et al.*, 2021).

Ante esto, Mápula-Larreta *et al.* (2008), recomiendan embeber la semilla para una mejor expresión en la emergencia en campo; sin embargo, si el periodo de imbibición se prolonga demasiado, la germinación puede verse afectada. Así, se requiere conocer el tiempo óptimo de imbibición en cada tipo de semilla para expresar el potencial germinativo, en el que, a su vez, ejercen influencia el tamaño del embrión, el tamaño de semillas, y en general, todas las estructuras de las semillas.

Algunos investigadores han empleado la prueba de imbibición de semillas para determinar la curva de absorción de agua en algunos maíces nativos occidentales Boyo y Celaya, y también en algunos del estado de Guerrero (Valle-Moysén *et al.*, 2017; Escobar-Álvarez *et al.*, 2021). No obstante, para tener un mejor panorama sobre el vigor de las semillas nativas es necesario emplear las metodologías que permitan conocer su comportamiento en cuanto a su emergencia. En este estudio se determinó el vigor de las colectas de Pepitilla y de las variedades mejoradas con la prueba de emergencia de radícula; aunado a ello, se determinó la curva de imbibición de las semillas como factor relacionado con el vigor por emergencia de radícula.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Evaluación de la emergencia de la radícula

Cuatro repeticiones de 50 semillas fueron utilizadas para la ER con la metodología “entre papel” en toallas kraft hidratadas, para luego colocarse en una cámara de germinación a 20 ± 1 °C. Transcurridas 66 h, las semillas fueron evaluadas con un margen de tolerancia de ± 15 min (ISTA, 2022).

3.4.1.1 Protrusión de radícula

Se consideró como protrusión a toda aquella semilla que presentó emergencia de radícula, sin considerar su longitud. Esta variable se reportó en porcentaje.

3.4.1.2 Emergencia de la radícula

Se determinó considerando únicamente aquellas semillas que produjeron una raíz igual o mayor a 2 mm, expresado como valor porcentual (ISTA, 2022).

3.4.1.3 Semillas no germinadas

Esta variable se determinó con base en las semillas que no presentaron indicios de una radícula emergida, en comparación con aquellas semillas que sí tuvieron por lo menos 1 mm de longitud en la radícula. Esta variable se presenta como valor porcentual.

3.4.1.4 Longitud de radícula

Se estableció como longitud de radícula a todas aquellas semillas que presentaron una radícula, sin considerar el criterio de un mínimo de 2 mm. Para ello, se tomaron en cuenta todos los valores obtenidos de longitud, y el valor se reportó como el promedio.

3.4.2 Imbibición de semillas

Se utilizaron tres réplicas de 100 semillas por cada genotipo, registrando su peso inicial. Luego, éstas fueron colocadas en vasos de precipitado con 250 mL de agua destilada y se mantuvieron a temperatura ambiental de 23 ± 2.3 °C.

El peso de las semillas se cuantificó en intervalos de 2 horas hasta peso constante. Finalmente, se determinó de manera gráfica la curva de imbibición como porcentaje de incremento del peso de la semilla, con relación al peso inicial.

Adicionalmente, al final de la prueba de imbibición, se tomó el dato del porcentaje de semillas con ruptura de testa.

3.4.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Los análisis de varianza y la diferencia mínima significativa (DMS) se efectuaron con un valor de alpha 0.05 en el software R-UCA versión 4.0.5, bajo un diseño experimental completamente al azar. Los valores expresados en porcentaje se transformaron a la función \sqrt{x} .

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Vigor por emergencia de la radícula

3.5.1.1 Protrusión de radícula

La protrusión de radícula, que se consideró como el porcentaje de todas las semillas que produjeron raíz, arrojó diferencias estadísticas en los genotipos evaluados a un valor de alpha de 0.05 (Figura 3).

En este caso, Pepitilla PEP-2402AG y el híbrido H-565 mostraron el mayor valor con 94% de protrusión de radícula; aunque, también se observó un porcentaje adecuado de protrusión en otras colectas de la raza estudiada, como el caso de la PEP-2407FI (92%), PEP-2404LS (88%), PEP-2406GU (88%), y PEP-2401NS (85%). Por el contrario, la variedad VS-535 junto con la colecta PEP-2408MS, mostraron los valores más bajos para esta variable, en orden respectivo de 69 y 73%. Mientras, el resto de los genotipos se encontró en un intervalo de 78 a 82%.

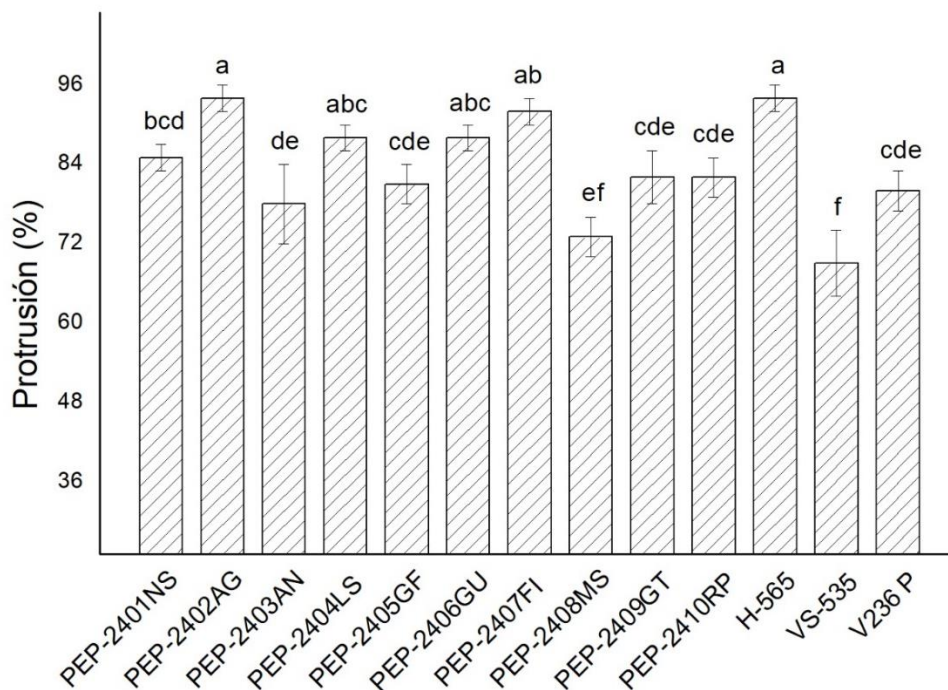


Figura 3. Protrusión radicular mediante la prueba de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero. Medias con letra diferente en las columnas son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media (DMS= 8.8).

La protrusión radicular es una variable del vigor de semillas que permite identificar de manera inicial el comportamiento de las mismas, e inclusive, sobre el vigor de aquellas que presentan deterioro, pues, se menciona que el avance en la edad de las semillas induce alteraciones progresivas e irremisibles en diferentes niveles metabólicos (bioquímico, fisiológico y molecular), las cuales menoscaban la capacidad fisiológica de las semillas para germinar e incluso eliminan todo signo de actividad metabólica (Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2007).

Sin embargo, para que haya protrusión radicular debe de haber las condiciones necesarias. Durante el proceso de imbibición de las semillas, el embrión produce giberelinas que inducen la síntesis de una gran variedad de enzimas en la capa de aleurona (especialmente la α -amilasa) para hidrolizar el almidón del endospermo y movilizar los subproductos (azúcares libres, aminoácidos, etc.) hacia el embrión para su crecimiento y desarrollo, dando como resultado la aparición de la radícula (Hou *et al.*, 2015; Subbarao *et al.*, 1998).

Los resultados de esta investigación guardan una relación estrecha con los obtenidos por Durán-Hernández *et al* (2011) y Gutiérrez-Hernández *et al.* (2011), quienes encontraron una protrusión de 68 a 88%, y de 82 a 90% en cuatro variedades de maíces criollos azules.

3.5.1.2 Emergencia de radícula

La emergencia de radícula se registró como el porcentaje de las semillas que produjeron una raíz con mínimo 2 mm de longitud y, de manera similar al porcentaje de protrusión radicular, las variedades mejoradas VS-535 y V236 P presentaron la emergencia más baja con apenas el 40% para las dos variedades, lo que significa que, el 29% de semillas de la VS-535 produjo una raíz con menos de 2 mm de longitud, y en la V236 P, éste fue de 40% (Figura 4).

Se observó que algunas poblaciones nativas no produjeron raíz con menos de 2 mm de longitud, por lo que el porcentaje de emergencia de radícula fue igual al de protrusión radicular. Tal es el caso de PEP-2401NS con 85%, PEP-2402AG con 94%, PEP-2406GU con 88%, y PEP-2410RP con 82%.

No obstante, se infiere que el híbrido H-565 produce un adecuado nivel de emergencia, ya que en éste genotipo se encontró que la emergencia de radícula fue de 9% menos, con relación al porcentaje de protrusión de 94%.

Otro aspecto que se recalca es que los materiales de Pepitilla no mostraron una gran disminución en la emergencia de radícula, respecto a la protrusión. En el caso del PEP-2404LS, PEP-2405GF y PEP-2409GT, sólo disminuyeron 1%.

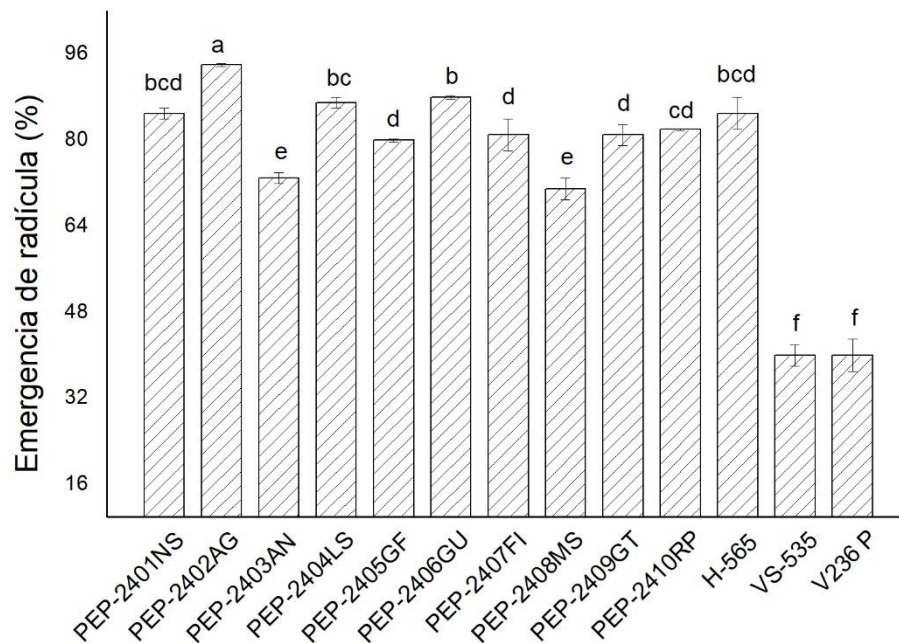


Figura 4. Emergencia de la radícula con mínimo 2 mm de longitud mediante la prueba de vigor de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero. Medias con letra diferente en las columnas son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media (DMS= 4.7).

La prueba de germinación para determinar el porcentaje de germinación en maíz comprende un periodo de incubación de siete días, pero el conteo de la emergencia de la radícula resulta ser un método fácil y sencillo para estimar la tasa de germinación en una etapa temprana. Aunado a ello, hay evidencia que enfatiza que la emergencia de radícula se relaciona con la emergencia en campo en diversas especies vegetales (Ermis *et al.*, 2015).

El retraso en el crecimiento y los bajos porcentajes de emergencia de radícula obtenidos en las variedades VS-535 y V236 P pudieron ser debido a un deterioro en las semillas,

ya que hay evidencia que indica que, en semillas con cierto grado de deterioro, el periodo de reparación fisiológico se prolonga más tiempo dando como resultado una baja tasa de emergencia (Matthews *et al.*, 2011a, 2011b).

Por otro lado, Matthews *et al.* (2007) reportan que las semillas con emergencia de radícula más lenta, produjeron un mayor número de plántulas anormales, lo que es un signo muy marcado del deterioro como resultado del envejecimiento fisiológico de semillas, lo que da como resultado un bajo vigor y que ha sido reportado ampliamente en maíz. De igual forma, los lotes de semillas con una emergencia más lenta, promovieron plántulas más pequeñas y de desarrollo variable en laboratorio, y que se observó también en campo (Khajeh-Hosseini *et al.*, 2009).

El cambio morfológico más importante durante la germinación de las semillas de cereales, es el alargamiento del eje embrionario, incluyendo la radícula y la plúmula, que están cubiertos por la coleorriza y el coleoptilo, respectivamente. Sin embargo, el tejido de la coleorriza parece ser un tejido similar al endospermo micropilar y a la testa, que también cubren la radícula y puede representar una barrera para la emergencia de la radícula (Han y Yang, 2015).

El endospermo también pudo haber representado una resistencia física al crecimiento de la radícula y por consecuencia retrasar su emergencia, pues la duración del periodo de latencia después de la imbibición antes de la emergencia de la radícula, está relacionada con el tiempo requerido para el ablandamiento del endospermo y propiciar la aparición de la radícula (Bradford, 1990).

Los resultados que se presentan en las Figura 3 y 4 indican que la raza Pepitilla presenta un buen vigor de semilla, toda vez que se identificaron los genotipos con altos valores en protrusión, así como alto porcentaje de emergencia de radícula. Caso contrario ocurrió con los genotipos que presentaron un bajo porcentaje de emergencia de radícula; en los que son múltiples los factores por los cuales pudo haber ocurrido; pero, se deduce que las semillas presentaron cierto grado de deterioro aunado a una barrera física que les impidió emerger satisfactoriamente.

3.5.1.3 Semillas no germinadas

El valor de semillas no germinadas se muestra en la Figura 5. Estos resultados fueron variados en los 13 genotipos; pero, indudablemente, la variedad sintética VS-535 fue la que obtuvo la mayor proporción con 31%, seguido de las colectas PEP-2408MS (27%) y PEP-2403AN (22%).

Por su parte, la V236 P también arrojó un alto valor de semillas sin germinación, con 20%. En contraste, el H-565 tuvo sólo el 6% de semillas sin germinar, y este dato fue similar al de la población PEP-2402AG en la que se encontró el mismo valor. Por tanto, estos genotipos fueron los mejores en cuanto al porcentaje de semillas no germinadas por haber mostrado los menores valores para esta variable. En un rango de 8 - 12% se encontraron las colectas PEP-2407FI, PEP-2406GU y PEP-2404LS.

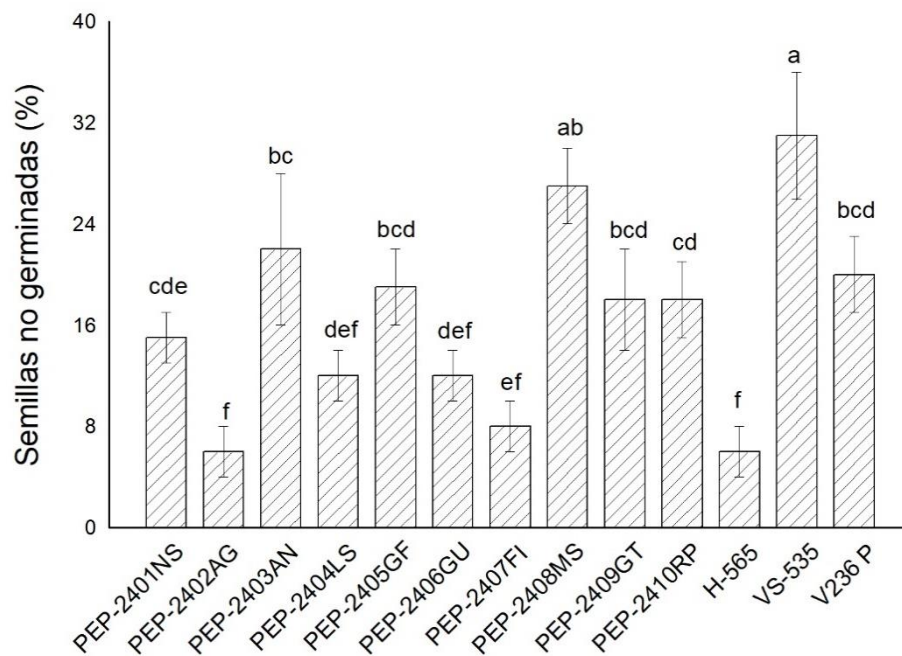


Figura 5. Semillas no germinadas en la prueba de vigor de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero. Medias con letra diferente en las columnas son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media (DMS= 8.8).

Se reporta que el deterioro fisiológico comienza antes de la cosecha de semillas y continúa durante los períodos de cosecha, procesamiento y almacenamiento; este proceso provoca progresivamente cambios en la integridad de la membrana celular, en

la actividad enzimática y en la síntesis de proteínas, dando como resultado final la muerte de la semilla (Sivritepe *et al.*, 2016).

Con base en lo anterior se deduce que, en este estudio, las semillas presentaron una pérdida de vigor como resultado de un determinado grado de deterioro que las llevó a tener altos valores de semillas no germinadas.

Otros estudios realizados por Durán-Hernández *et al.*, (2011) y Ramírez *et al.*, (2013) indican que altos valores de semillas muertas son la consecuencia de daños fisiológicos durante el proceso de síntesis de las macromoléculas, en la división celular, en la funcionalización e integridad de las membranas, que provocan la pérdida de vigor.

Aunado a lo anterior, se destaca que durante la germinación ocurren una serie de procesos que inician con la imbibición de la semilla, la activación del metabolismo, la ruptura del tegumento y finalmente la aparición de la radícula. La etapa inicial es principalmente una absorción del agua, mientras que las etapas subsecuentes dependen de la movilización de las reservas de las semillas. De esto modo, la liberación de solutos del citoplasma como azúcares, aminoácidos y electrolitos, es proporcional al estado de desorganización de las membranas, por tanto, las semillas más deterioradas liberarán una mayor cantidad de exudados, y como consecuencia, la germinación y la emergencia de la radícula puede ser nula (Silva *et al.*, 2007).

3.5.1.4 Longitud de radícula

Respecto a la variable longitud de la raíz (Figura 6), se detectó que, a pesar de haberse encontrado un alto porcentaje de protrusión de radícula en el híbrido H-565, la raíz no presentó una buena longitud (3.8 cm), siendo, junto con las otras dos variedades mejoradas, los genotipos que exhibieron los valores más bajos en longitud. En este caso, la VS-535 tuvo la menor longitud con 1.9 cm, seguido de la V236 P con 2.6 cm.

Las colectas de Pepitilla mostraron buenos resultados para esta variable, registrando con 11.2 cm la raíz más larga para el PEP-2406GU. De acuerdo con estos resultados, las 10 poblaciones pueden catalogarse en tres grupos, el primero de ellos en un rango de 7.8 a 8.8 cm, que contempla a los PEP-2407FI, PEP-2408MS, PEP-2410RP y PEP-2405GF;

en el segundo grupo se encuentra únicamente el PEP-2401NS con 9.2 cm de longitud; el tercer grupo abarca el resto de los Pepitilla con una longitud ≥ 10.0 cm.

La medición de la longitud de la radícula durante la germinación, puede considerarse como un parámetro de crecimiento de las plántulas en desarrollo, en contraste con la germinación que registra que las plántulas llegaron a una determinada etapa de desarrollo; la longitud de la radícula está a su vez asociada a la temperatura en que se está desarrollando la prueba, por lo que el aumento gradual de la misma, promueve una mayor elongación (Fyfield y Gregory, 1989).

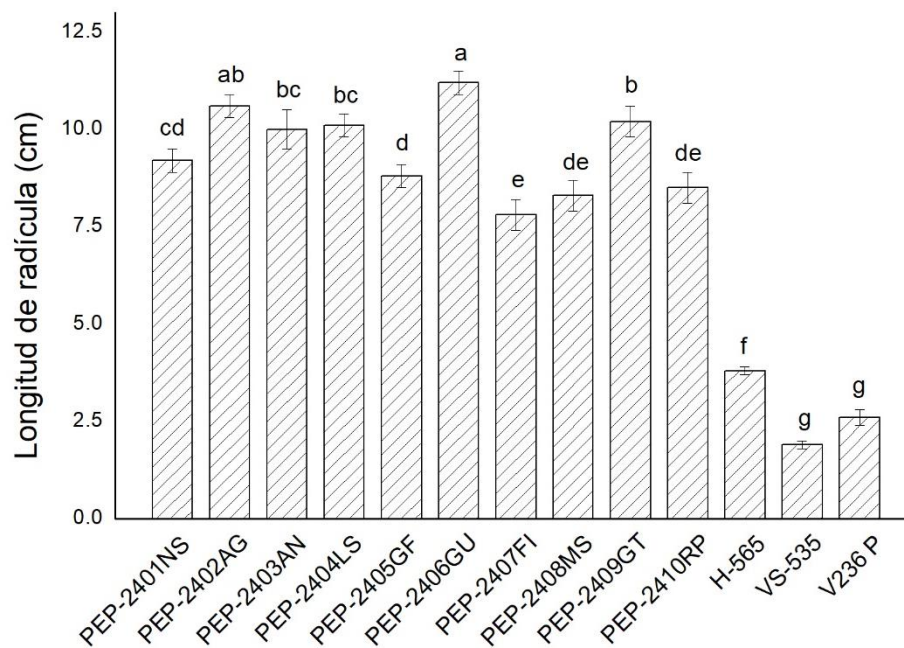


Figura 6. Longitud promedio de radícula en la prueba de vigor de emergencia de la radícula en 10 colectas de maíz de la raza Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero. Medias con letra diferente en las columnas son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media (DMS= 0.9).

Asimismo, una mayor elongación de la radícula, representa una semilla vigorosa, ya que un estudio indica que la radícula y la plúmula no compiten por sustrato, pero, la presencia de la radícula promueve el crecimiento de la plúmula, probablemente por un efecto sobre un balance equilibrado en el crecimiento; es posible que un ambiente con mejores condiciones para el crecimiento de la radícula, pueda favorecer el desarrollo del mesocotilo/coleoptilo (Blacklow, 1972).

La contrastante diferencia en longitud de radícula de las poblaciones de maíz Pepitilla con las tres variedades mejoradas (Figura 6), representa un alto impacto no sólo por la emergencia, sino también en el tamaño de las plántulas; ya que Matthews y Powell (2011), afirman que entre un lote de semillas con una rápida emergencia de radícula y uno que tiene baja emergencia, hay diferencias que se observan cuando las plántulas se encuentran totalmente desarrolladas. De este modo, los lotes de semillas con rápida emergencia de radícula, presentan las plántulas más grandes y uniformes en su desarrollo; en comparación con los lotes de lenta emergencia cuyas plántulas presentan un desarrollo pobre.

3.5.2 Vigor por la imbibición de semilla

La absorción de agua a las 36 h (Figura 7) fue mayor y ligeramente más rápido en la variedad mejorada V236 P con 49.8%, seguido de las colectas PEP-2409GT (49.4%) y PEP-2404LS (48.7%); en contraste, las variedades VS-535 y H-565 tuvieron la menor absorción con 44.4% y 42.4%, respectivamente. Durante las primeras 2 horas las semillas tuvieron una absorción en un intervalo de 11.0 – 19.8%. En este caso, PEP-2404LS presentó la menor absorción, pero al finalizar la prueba, este genotipo ocupó el tercer lugar en hidratación. No obstante, durante las primeras 14 h se observó el mayor incremento en peso de las semillas.

Igualmente, la variedad VS-535 alcanzó la mayor absorción a las 24 h; no obstante, el resto de las semillas embebieron la mayor cantidad de agua hasta las 22 h. A partir de este punto, se observa un ligero periodo de “latencia” hasta las 28 h en el que hubo una reducción en la tasa de hidratación. A las 30 h se observó un incremento en el porcentaje de absorción, pero fue más marcado en las colectas de Pepitilla, principalmente, en PEP-2410RP y PEP-2404LS. Este incremento en peso se debió a una hinchazón en el embrión como resultado de una posible emergencia y desarrollo de la radícula. Finalmente, a las 36 h se observó una ruptura en la testa, y sólo en las colectas de Pepitilla se presenciaron una protrusión de radícula.

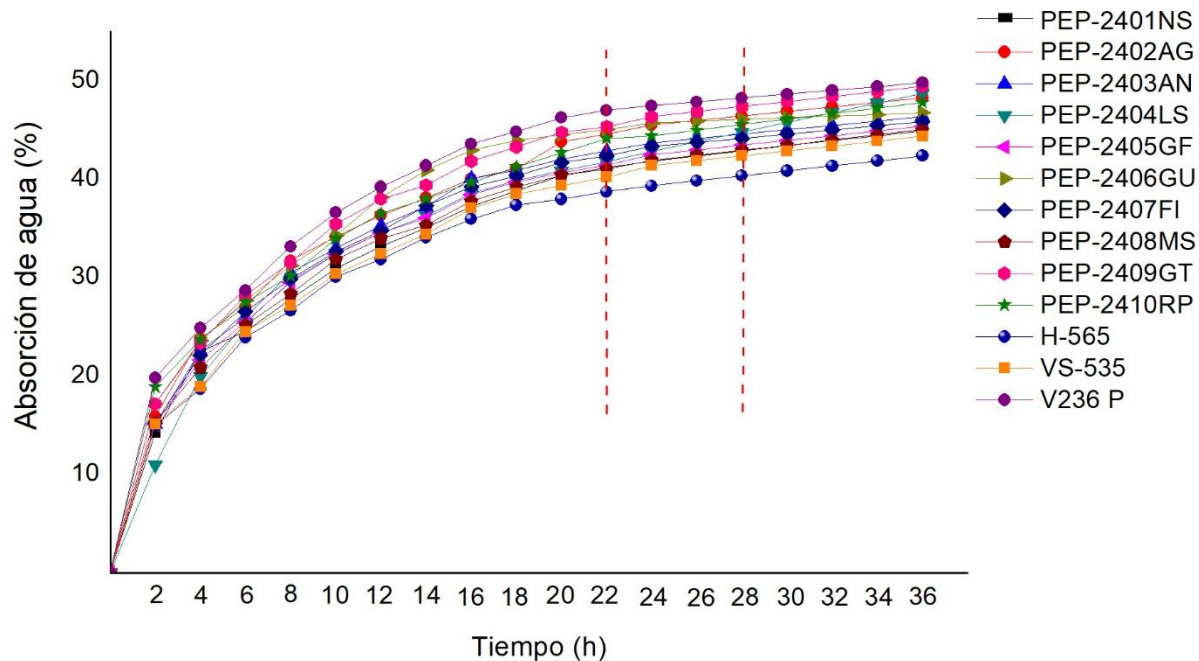


Figura 7. Curva de imbibición de 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero.

La ruptura de la testa en la zona embrionaria de las semillas tuvo variación en cuanto a los valores registrados (Figura 8). En general, los resultados de ruptura de testa pueden ser clasificados en tres grupos. En el primer grupo destaca la colecta PEP-2407FI que mostró la mayor proporción para esta variable con 56.7%, seguido de PEP-2410RP con 50%, y luego PEP-2401NS con 40%. Un grupo intermedio está compuesto por siete colectas de Pepitilla en un rango de 23.3 a 33.3%; cuya diferencia no fue significativa. Las tres variedades mejoradas no presentaron mayor ruptura de testa que 5.5% en la V236 P. Por su parte, el híbrido H-565 tuvo un 3.3%, mientras la VS-535 sólo 1.1%. Por tanto, las variedades mejoradas fueron el tercer grupo al contener los valores más bajos en esta variable.

Se ha reportado que la imbibición de las semillas consta de tres fases. En la primera fase ocurre la rehidratación de los tejidos; en la segunda fase se presenta la activación de la germinación en sentido estricto, caracterizándose por un equilibrio en los potenciales hídricos y la activación de los procesos metabólicos que desencadenan la emergencia de la radícula; y la tercera fase que se caracteriza por un aumento en la demanda de

agua como consecuencia del crecimiento de las estructuras del embrión debido principalmente al aumento en tamaño de las células (Rangel-Fajardo *et al.*, 2014).

En la Figura 7 se observa claramente la primera fase con el máximo de absorción a las 22 h, después de este tiempo se aprecia que las semillas se hidrataron en menor cantidad respecto a las primeras horas. Este bajo nivel de absorción se mantuvo hasta las 28 h, momento en el que se sugiere hubo la mayor activación metabólica de las semillas para promover la aparición de la radícula. Finalmente, el aumento gradual en peso de las semillas a las 30 h correspondió con una hinchazón del eje embrionario que resultó en la ruptura de la testa y la consecuente emergencia de radícula a las 36 h. Este suceso se detectó principalmente en las colectas de Pepitilla.

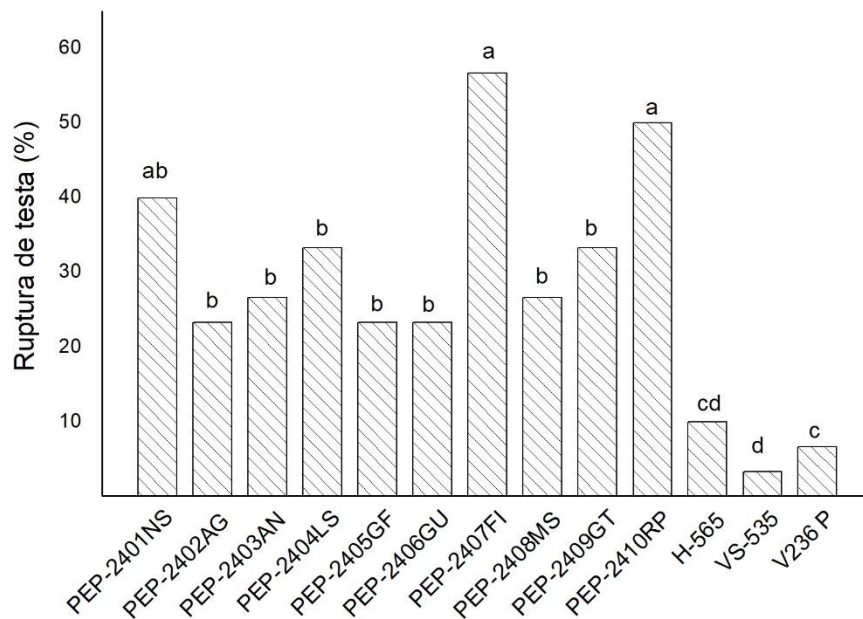


Figura 8. Ruptura de la testa en la prueba de imbibición de semillas de 10 colectas de maíz Pepitilla y tres variedades mejoradas de la región Norte del estado de Guerrero. Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$).

Vertucci (1989), indica que a medida que la semilla se hidrata, se vuelve sensible a los cambios drásticos de temperatura y a la velocidad de imbibición, dando como resultado la pérdida abundante de solutos y macromoléculas o incluso defectos en el metabolismo; esta sensibilidad está controlada por el contenido de humedad en la semilla, la temperatura del ambiente y la velocidad de absorción de agua. Por tanto, cuando las semillas, con un bajo contenido inicial de humedad, absorben agua rápidamente, se

produce una ligera disminución del vigor, pero, si la absorción es gradual, no ocurren efectos negativos.

Escobar-Álvarez *et al.* (2021), reportan una absorción acelerada de agua durante las primeras 10 h en semillas de maíz nativo del estado de Guerrero, sugiriendo que los maíces criollos de Guerrero poseen alta capacidad de imbibición que les permite un mejor desarrollo en los procesos fisiológicos y de germinación.

Por otra parte, Blacklow (1972) reporta que la cubierta de la semilla, el endospermo, el embrión y la punta de la semilla absorben agua a diferentes velocidades y alcanzan la saturación en diferentes momentos; igualmente, se ha visto que esta absorción está directamente influenciada por la testa de las semillas y su permeabilidad (Méndez-Natera *et al.*, 2008). De esto se puede suponer que la testa de las semillas de las colectas de Pepitilla favorece una mayor penetración del agua hacia su interior, lo que permite al embrión alcanzar el máximo punto de hidratación en el menor tiempo posible, y con la capacidad de promover la emergencia de la radícula a las 36 h.

Para el caso de las variedades mejoradas, el endospermo también pudo haber representado una resistencia física a la imbibición y al consecuente rompimiento de la testa retrasando su emergencia, pues se reporta que la duración del periodo de latencia después de la imbibición antes de la emergencia de la radícula, está relacionada con el tiempo requerido para el ablandamiento del endospermo y propiciar la aparición de la radícula, pues esta estructura tiene una menor capacidad de absorción de agua en comparación con el eje embrionario (Bradford, 1990; Pérez *et al.*, 2003).

3.6 CONCLUSIONES

Las semillas de las colectas de maíz Pepitilla presentaron altos valores de protrusión y de emergencia de radícula; por su parte, las variedades mejoradas tuvieron un bajo porcentaje de emergencia de radícula, lo que significa que gran parte de estos genotipos promovieron una radícula con una longitud menor a la que establece la ISTA de 2 mm. El valor de semillas no germinadas fue alto para la mayoría de los genotipos y solamente la colecta PEP-2402AG y el híbrido H-565 tuvieron el valor más bajo. Respecto a la longitud de radícula se observó que el maíz Pepitilla tiene el potencial de producir una radícula de mayor longitud a las 66 h de establecida la prueba.

Por otro lado, se detectó que la variedad mejorada V236 P fue superior al resto de los genotipos en cuanto a la absorción de agua y el híbrido H-565 fue el que menos incremento tuvo en la imbibición. Al respecto, las colectas de la raza Pepitilla presentaron un valor alto de ruptura de la testa en la zona del eje embrionario e indicios de una emergencia de radícula. De este modo, se sugiere que la absorción de agua de la prueba de imbibición no está relacionada con la capacidad de emergencia de radícula, y que ésta está en función de las estructuras de la semilla como el tipo de endospermo y la permeabilidad de la testa.

CAPÍTULO IV. VIGOR DE SEMILLA MEDIANTE LA PRUEBA DE PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN SEMILLAS DE MAÍZ RAZA PEPITILLA DE LA MONTAÑA BAJA DE GUERRERO

4.1 RESUMEN

La evaluación del vigor de semillas cuenta con diferentes áreas de oportunidad para el desarrollo, la implementación y el manejo de nuevas metodologías para determinar la capacidad de emergencia y desarrollo de las semillas en una amplia gama de ambientes. En este estudio se determinó el vigor de las semillas por medio de la profundidad de siembra a 6 cm y 12 cm en arena de río como sustrato. Los resultados mostraron diferencias estadísticas en las dos profundidades evaluadas. En la emergencia de plántulas en la siembra de 6 cm, la población PEP-2404LS presentó el mayor porcentaje, mientras la PEP-2403AN fue la mejor en la siembra de 12 cm. Para la velocidad de emergencia, con el incremento de la profundidad de siembra, la velocidad disminuyó en todos los genotipos evaluados; sin embargo, Pepitilla PEP-2403AN emergió más rápido a los 12 cm, en comparación con el resto. Con relación a la germinación, las poblaciones PEP-2407FI y PEP-2403AN fueron sobresaliente con valores correspondientes de 78% y 20% en las profundidades respectivas de 6 cm y 12 cm; en cuanto a las plántulas anormales, se encontró el menor valor a los 12 cm (1%); pero, la proporción de semillas no germinadas fue de hasta 91%, en contraste con aquellas de 6 cm. El máximo valor de viabilidad total fue de 92% en la menor profundidad (PEP-2404LS), y de 26% en la más profunda (PEP-2403AN). La raíz tuvo menor desarrollo a 12 cm de siembra en cuanto a las longitudes de raíz principal y de raíz secundaria, pero el número de raíces secundarias al igual que la longitud del mesocotilo, fueron mayores en esta profundidad. Las longitudes del tallo y de hoja no mostraron diferencias muy grandes en las dos profundidades, pero sí se detectaron los genotipos que promovieron un mejor desarrollo. Para el diámetro de tallo, la población PEP-2401NS tuvo el mayor grosor en las dos profundidades evaluadas. Asimismo, se registró variación en los resultados de la producción de biomasa. En el tejido de la raíz se encontraron genotipos con un alto valor de peso fresco, pero en el peso seco hubo una disminución contrastante, no obstante, el contenido de materia seca mostró aquellos genotipos con la capacidad de sintetizar una

mayor cantidad de fotoasimilados, con relación a su capacidad de retención de agua (PEP-2403AN, PEP-2404LS, y PEP-2406GU, a 12 cm de profundidad). En cuanto a la parte aérea se refiere, los mayores valores de peso fresco y seco se obtuvieron en las plántulas provenientes de los 12 cm en profundidad de siembra; el contenido de materia seca no mostró la variación que se registró en el tejido de la raíz, por lo que la profundidad de siembra no tuvo mucha afectación para esta variable. En suma, se logró detectar el vigor de las semillas por medio de la valoración de diferentes características de germinación, crecimiento y producción de biomasa, de las semillas sometidas a un estrés por medio de la profundidad de siembra a 6 cm y 12 cm.

Palabras clave: emergencia de plántulas, velocidad de emergencia, vigor de plántulas, diámetro de tallo, producción de biomasa.

4.2 ABSTRACT

Seed vigor evaluation has different opportunity areas for development, implementation and management of new methodologies to determine the emergence and development capacity of seeds in a wide range of environments. In this study, seed vigour was determined by means of planting depth at 6 cm and 12 cm sowed in river sand as substrate. Results showed statistical differences in the two sowings evaluated. In the 6 cm sowing, seedling emergence of the PEP-2404LS population presented the highest percentage, while the PEP-2403AN was the best in the 12 cm sowing. For the speed of emergence, as the sowing depth increased, the speed decreased in all genotypes evaluated; however, Pepitilla PEP-2403AN emerged faster at 12 cm, compared to the rest. In germination, PEP-2407FI and PEP-2403AN populations were better with corresponding values of 78% and 20% at the respective depths of 6 cm and 12 cm; regarding abnormal seedlings, the lowest value was found at 12 cm (1%), but the proportion of non-germinated seeds was up to 91%, in contrast to those of 6 cm. The maximum value of total viability was 92% in the shallowest depth (PEP-2404LS), and 26% in the deepest (PEP-2403AN). The root had a poor development at 12 cm of planting in terms of the main root and secondary root lengths, but the number of secondary roots as well as the length of the mesocotyl were greater at this depth. The stem and leaf lengths did not show very large differences in the two sowings, but we detected the genotypes that promoted better development. For stem diameter, Pepitilla PEP-2401NS had the greatest diameter at the two depths evaluated. On the other hand, a variation was recorded in biomass production results. In the root tissue, we identified the genotypes with a high value of fresh weight, but in the dry weight there was a contrasting decrease, however dry matter content showed those genotypes with the ability to synthesize a greater amount of photoassimilates, in relation to their water retention capacity (PEP-2403AN, PEP-2404LS, and PEP-2406GU, at 12 cm depth). For the aerial part, the highest values of fresh and dry weight were obtained in the seedlings from 12 cm of sowing; dry matter content did not show the variation that was registered in the root tissue, so planting depth did not have much effect on this variable. In general, it was possible to detect the seed vigour of the seeds subjected to stress through the sowing depth at 6 cm

and 12 cm, by the evaluation of different characteristics of germination, growth and biomass production.

Key words: Seedling emergence, speed emergence, seedling vigour, stem diameter, biomass production.

4.3 INTRODUCCIÓN

La calidad de las semillas se puede evaluar mediante variables de calidad física, como el contenido de humedad, el peso de mil semillas, el peso volumétrico, entre otras; o de variables de calidad fisiológica, como son la velocidad de emergencia, y los porcentajes de viabilidad y germinación. La mayoría de estas variables son cuantificadas de manera fácil, por lo general, pero pueden o no estar asociadas al vigor de la semilla (Hernández *et al.*, 2000).

El vigor, como criterio para evaluar las semillas, surgió para determinar la calidad de los lotes de semillas de especies cultivadas, porque la prueba de germinación por sí sola no ofrece la información adecuada y precisa acerca del comportamiento de las semillas en condiciones de campo, por este motivo, además de la germinación estándar, se deben realizar pruebas de vigor para establecer diferencias cualitativas entre los lotes de semillas (Valdéz-Eleuterio *et al.*, 2015).

Se ha señalado que la baja emergencia y establecimiento de los cultivos es un problema común que podría resolverse, al menos parcialmente, con la identificación de cultivares con alto vigor de semillas; la caracterización fisiológica de la emergencia y establecimiento de la planta, en función de la profundidad de siembra, permitiría reconocer diferencias entre poblaciones con características de interés como la rapidez en emerger, la homogeneidad de emergencia, la tasa de germinación y crecimiento de la plántula, el desarrollo de las raíces y del follaje (Celis-Velázquez *et al.*, 2008).

Por otra parte, la germinación y el establecimiento de las plántulas son los estados más críticos del ciclo de vida de los cultivos y, si a esto le sumamos la ejecución de prácticas agrícolas no adecuadas y una profundidad de siembra desfavorable, la consecuencia es una disminución de la germinación y baja expresión del vigor, ya que no todas las semillas tienen la misma capacidad de germinar bajo condiciones adversas como lo es el estrés por una profundidad mayor a la óptima, lo que implica que la semilla tenga un importante desgaste en el uso de las sustancias de reserva para poder salir a la superficie, y con esto, comenzar el proceso de fotosíntesis (Guadarrama *et al.*, 2009).

Por lo anteriormente descrito, en este estudio el objetivo fue evaluar el vigor de semillas mediante la valoración de características como la emergencia, la velocidad de emergencia, la germinación, el vigor de plántula, el diámetro de tallo, y la producción de biomasa, en función de las profundidades de siembra a 6 y 12 cm.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Evaluación del vigor de semilla

La siembra se realizó el día 13 de abril del 2022 en un almácigo con arena de río como sustrato y tamaño de partícula ≤ 3 mm, en un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.

Se evaluaron dos profundidades de siembra (6 y 12 cm) y 13 genotipos de maíz, resultando en un total de 26 tratamientos. La siembra se efectuó el día 13 de abril del 2022. La distancia entre plantas y de surcos fue de 4 y 6 cm, de manera respectiva; y la equidistancia de 8 cm.

Con ayuda de un higrómetro termómetro digital marca OEM modelo TA318 se tomó lectura de las condiciones climáticas. La temperatura máxima se registró de 43.2 °C y la mínima de 22.1 °C. La humedad relativa promedio fue de 12.8%.

Debido a las altas temperaturas, se colocó una malla con cal a 1.5 m sobre el almácigo para disminuir la incidencia de la radiación. Se efectuaron tres riegos diarios en horario de 9:00 am, 2:00 pm, y 18:00 pm, por motivo que la humedad era evaporada rápidamente en una capa superficial de 6 cm aproximadamente.

4.4.1.1 Emergencia de plántulas

Este dato se obtuvo por medio de los conteos diarios realizados sobre la siembra en las dos profundidades evaluadas, sin discriminar entre plántulas normales y anormales. Se graficó la curva de la emergencia de plántulas con base en los días de emergencia de los coleóptilos y/o de las plántulas.

4.4.1.2 Velocidad de emergencia de plántulas

Se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas, considerando como día uno aquél en que se observó la primera plántula emergida, finalizando el conteo a los quince días después del establecimiento del experimento. La velocidad de emergencia se determinó con la siguiente fórmula:

$$VE = \sum_{i=1}^n \frac{Xi}{Ni}$$

Dónde:

VE = Índice de velocidad de emergencia

Xi = Plántulas emergidas por día

Ni = Días después de la siembra

4.4.1.3 Germinación

El objeto del análisis de germinación es determinar el potencial de un lote de semillas que puede, a su vez, ser utilizado para comparar la calidad de los distintos lotes y también estimar la densidad de siembra en campo (ISTA, 2021).

Esta evaluación se realizó en un almácigo con arena de río utilizando cuatro réplicas de 50 semillas de cada genotipo.

4.4.1.3.1 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se calculó en de manera respectiva en las profundidades de 6 y 12 cm a los 13 y 18 días después de establecida la prueba, mediante el recuento de las plántulas normales que contempla tres clasificaciones: 1) plántulas intactas: plántulas con todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas, proporcionadas y sanas, 2) plántulas con defectos leves: plántulas que muestran ciertos defectos leves en sus estructuras esenciales, siempre que tengan un desarrollo satisfactorio y balanceado comparable al de las plántulas intactas del mismo análisis, y 3) plántulas con infección secundaria: plántulas en las que es evidente que habrían sido como una de los dos ejemplos anteriores pero que se han visto afectadas por hongos o bacterias procedentes de fuentes distintas a la semilla que le dio origen.

La germinación se calculó con la fórmula:

$$PG = \left(\frac{NPN}{50} \right) * 100$$

Donde

PG = Porcentaje de germinación

NPN = Número de plántulas normales

4.4.1.3.2 Plántulas anormales

Se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales y/o aquellas que no lograron emerger o en su caso, las plántulas que mostraron malformaciones mayores o infecciones primarias por hongos o bacterias. La determinación se efectuó mediante la fórmula siguiente.

$$PA = \left[\frac{NPA}{50} \right] * 100$$

Dónde:

PA = porcentaje de plántulas anormales

NPA = número de plántulas anormales

4.4.1.3.3 Semillas sin germinar

Para esta variable fueron consideradas aquellas semillas en las que no hubo indicios de la presencia de las estructuras principales de las plántulas. En todo caso, su estimación se realizó por medio de lo siguiente.

$$SSG = \left[\frac{NSSG}{50} \right] * 100$$

Dónde:

SSG = semillas sin germinar

$NSSG$ = número de semillas sin germinar

4.4.1.3.4 Viabilidad total

Esta se consideró como la sumatoria de las plántulas normales con las plántulas anormales. Se estimó por medio de la ecuación:

$$VT = \left[\frac{PN + PA}{100} \right] * 100$$

Dónde:

VT= Viabilidad total

PN= plántulas normales

PA= plántulas anormales

4.4.1.4 Vigor de plántula

El vigor de plántula se consideró con base en la valoración de las diferentes estructuras que permitieron identificar su potencial para crecer y desarrollarse de manera satisfactoria. Para el vigor de la plántula se consideraron con las siguientes mediciones.

4.4.1.4.1 Longitud de raíz principal

Este dato se obtuvo con base en la valoración de las diferentes estructuras de las plántulas que permitieron identificar su potencial para crecer y desarrollarse de manera satisfactoria.

4.4.1.4.2 Longitud de raíces secundarias

La longitud de raíces secundarias fue considerada únicamente en la raíz que fuera representativa del resto de las raíces.

Referente a esta variable, se consideró como raíces secundarias a todas aquellas que derivaron de la semilla (seminales), así como aquellas raíces coronarias o también llamadas adventicias que se desarrollan en el mesocotilo.

De acuerdo con una valoración visual, se tomó el dato sólo de aquella raíz que fuera representativa de todo el grupo de raíces secundarias. El dato se registró en cm.

4.4.1.4.3 Número de raíces secundarias

Se cuantificó el número de raíces secundarias que desarrolló cada plántula, y se reportó el dato como el número promedio, considerando para ello las raíces seminales y las raíces coronarias o adventicias.

4.4.1.4.4 Longitud de mesocotilo

Esta medición se realizó en centímetros, a partir del punto de inserción en la semilla, hasta la división con el coleoptilo.

4.4.1.4.5 Longitud de tallo

Esta variable fue medida desde la intersección del mesocotilo hasta la lígula de la primera hoja desarrollada en cm.

4.4.1.4.6 Longitud de hoja

Se consideró su longitud en cm como un componente del vigor de plántula para el establecimiento de un valor que permita una mejor discriminación en cuanto a la calidad de semillas.

Este dato fue tomado en cm desde la lígula de la hoja hasta el ápice de la misma, considerando para su medición la hoja más desarrollada.

4.4.1.5 Diámetro de tallo

El diámetro de tallo se realizó con la ayuda de un vernier digital Digital Caliper ± 0.01 mm. La medición se realizó por encima de la intersección de mesocótilo, y se reportaron los datos en mm.

4.4.1.6 Producción de biomasa

Para cuantificar la producción de biomasa, las plántulas provenientes de la evaluación de vigor de plántula fueron seccionadas en dos partes: raíz y parte aérea.

Luego de esto, se tomó de manera individual los pesos frescos. Después, los tejidos (raíz y parte aérea) se colocaron en bolsas de papel Kraft para llevarse a un secado en un

horno de control eléctrico Lumistell^{MR} modelo HTP-41 a temperatura de 75 ± 2 °C durante 72 h, de acuerdo con la metodología descrita por Pérez *et al.*, 2007.

Una vez terminado el tiempo de secado, se procedió a tomar el registro de los pesos secos de la raíz y la parte aérea, para estimar la proporción de materia seca producida con relación al peso inicial (en fresco).

En este sentido, los valores de peso fresco y seco de la parte aérea y de la raíz fueron reportados en miligramos, mientras que, el contenido de materia seca, tanto de la parte aérea como de la raíz, se expresó en valores porcentuales.

4.4.2 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se realizó en un diseño de bloques completamente al azar con dos profundidades de siembra (6 y 12 cm) y 13 genotipos de maíz, resultando en un total de 26 tratamientos que se distribuyeron en cuatro repeticiones colocando 50 semillas por cada parcela que constó de dos surcos.

Se realizaron los análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) a un valor de $\alpha = 0.05$. En aquellas variables cuya expresión fue en porcentaje, se aplicó una transformación \sqrt{x} para luego efectuar los ANDEVA.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1 Emergencia de plántulas

El porcentaje de emergencia de plántulas se obtuvo mediante los conteos diarios que se efectuaron en el almácigo, sin discriminar entre plántulas normales y plántulas anormales (Figura 9).

En la profundidad de 6 cm, el mayor porcentaje de plántulas se encontró en los genotipos de pepitilla PEP-2404LS (94%) y PEP-2407FI (91%), y en la VS-535 (91%) al sexto conteo.

Al tercer día se observa que la mayoría de los genotipos había alcanzado la máxima germinación, por lo que, a partir de ese conteo, sólo se esperaría uniformidad en cuanto a la emergencia para que se detuvieran los conteos. Pepitilla PEP-2404LS sobresale del resto de los genotipos, por motivo que al tercer día alcanzó la máxima emergencia (92%) y sólo hubo un ligero incremento de 2% al sexto conteo.

Por otro lado, la variedad V236 P y el híbrido H-565 presentaron una lenta emergencia en los conteos uno y dos; sin embargo, al tercer conteo se incrementó de manera significativa esta emergencia. La colecta PEP-2408MS tuvo el menor valor para esta variable respecto al resto de los genotipos, con 80%.

De manera contrastante, la emergencia a 12 cm fue muy baja; no obstante, se identificó que las poblaciones de Pepitilla PEP-2403AN, PEP-2405GF y PEP-2409GT, tienen vigor de semilla para emerger a mayor profundidad. En estos materiales se registraron valores de 30, 25 y 25%, respectivamente. Por el contrario, la emergencia más baja se observó en un rango de 10 – 11% en las variedades mejoradas VS-535 y H-565, y el Pepitilla PEP-2410RP.

Hui-Ying *et al.* (2018), observaron que la tasa de emergencia de plántulas de maíz presenta un decremento gradual a medida que se incrementa la profundidad de siembra. Estos autores reportan una reducción en la emergencia de plántulas en un rango de 9.4% - 11.8% a los 9 cm de profundidad, respecto a una siembra superficial (3 cm).

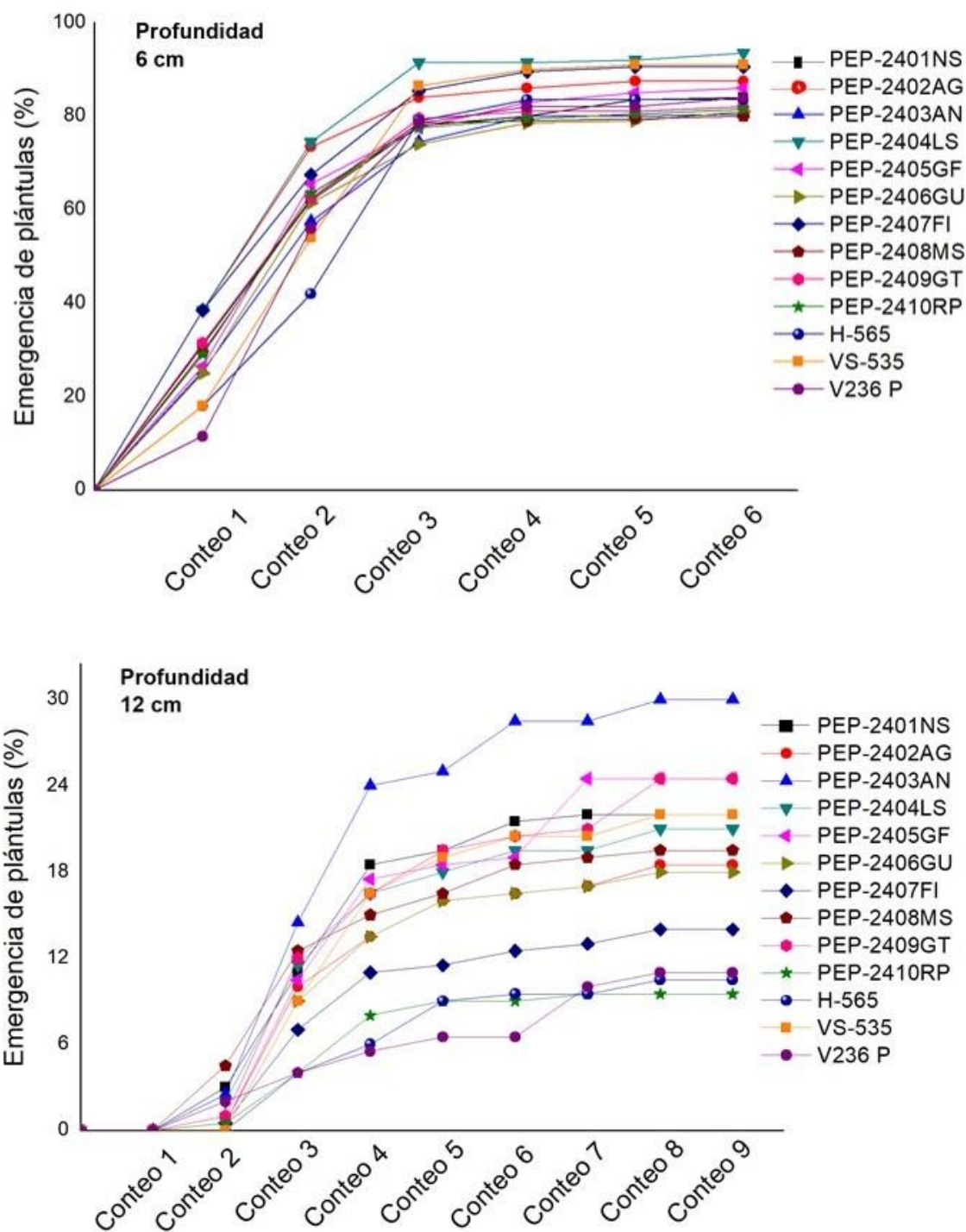


Figura 9. Porcentaje de emergencia de las plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas sometidas a dos profundidades de siembra.

El objetivo de someter las semillas a la prueba de vigor por profundidad de siembra es para evaluar su comportamiento respecto a su crecimiento y desarrollo. En un estudio

realizado por Hussen *et al.* (2013), encontraron efectos significativos en profundidades de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 cm en el porcentaje de emergencia de plántulas de maíz a los 10 días de establecida la prueba; de tal modo que, las semillas de la profundidad de 6 cm estuvieron cerca de alcanzar el 100% de emergencia, mientras la siembra más profunda tuvo un bajo desempeño para esta variable.

Asimismo, Wato (2019), indica que efectuar una siembra profunda como una superficial, ejercen una alta influencia sobre el establecimiento de la población inicial de plantas y su desarrollo, que podrá afectar de manera significativa el rendimiento del cultivo; por lo que es necesario que el cultivo emerja de manera uniforme de tal modo que le permita un mejor anclaje y una menor competencia por malezas.

En este estudio se observó el efecto de la siembra a 12 cm de profundidad, respecto a la de 6 cm. El porcentaje de emergencia de plántulas presentó una diferencia en más de 60% entre las dos profundidades, pero se identificó que algunas colectas de Pepitilla tienen buen vigor de semilla debido a que su emergencia fue superior, incluso, al de las variedades mejoradas.

De acuerdo con lo anteriormente descrito, cuando las semillas son sembradas a mayor profundidad, presentan una emergencia desuniforme; esto por motivo que, las semillas y/o los brotes iniciales tienen que sintetizar y gastar una mayor cantidad de sustancias y biomoléculas que les permita superar el estrés, y así, emerger por encima del suelo. Este proceso provoca un rápido agotamiento de las reservas de las semillas y/o de las plántulas, y por ende, la emergencia es baja. Aunado a ello, las semillas se encuentran en mayor contacto por microorganismos patógenos y plagas que las pueden afectar fuertemente durante el proceso de germinación o en su crecimiento (Palamarchuk y Telekalo, 2018).

4.5.2 Velocidad de emergencia de plántulas

La velocidad de emergencia es una variable que relaciona el número de plantas emergidas a cierto tiempo. Respecto a ello, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las dos profundidades de siembra evaluadas ($p < 0.05$) que se muestran en la Figura 10.

En la profundidad de 6 cm se encontró la mayor velocidad de emergencia en Pepitilla PEP-2404LS con 12.7 plantas/día, seguido de PEP-2407FI con 12.2 plantas/día, y luego PEP-2402AG con 12.1 plantas/día. Mientras que, el H-565 y la V236 P presentaron las velocidades de emergencia más bajas para esta profundidad con 10.1 y 10.2 plantas/día, respectivamente.

Asimismo, se observó una adecuada velocidad para los genotipos PEP-2405GF y VS-535, cuyos valores fueron en orden respectivo de 11.7 y 11.1 plantas/días. Con relación a la siembra a 12 cm, la mayor velocidad fue de 2.7 plantas por día, que se registró en la colecta PEP-2403AN; por el contrario, los valores más bajos fueron registrados en la población PEP-2410RP con 0.8 plantas/día, y en las variedades mejoradas H-565 y V236 P con 0.9 plantas al día.

Al igual que en la siembra a poca profundidad, los Pepitilla PEP-2405GF y PEP-2409GT tuvieron una velocidad de emergencia de 2.1 plantas por día en ambos genotipos; seguidos por PEP-2401NS con 2.0 plantas al día.

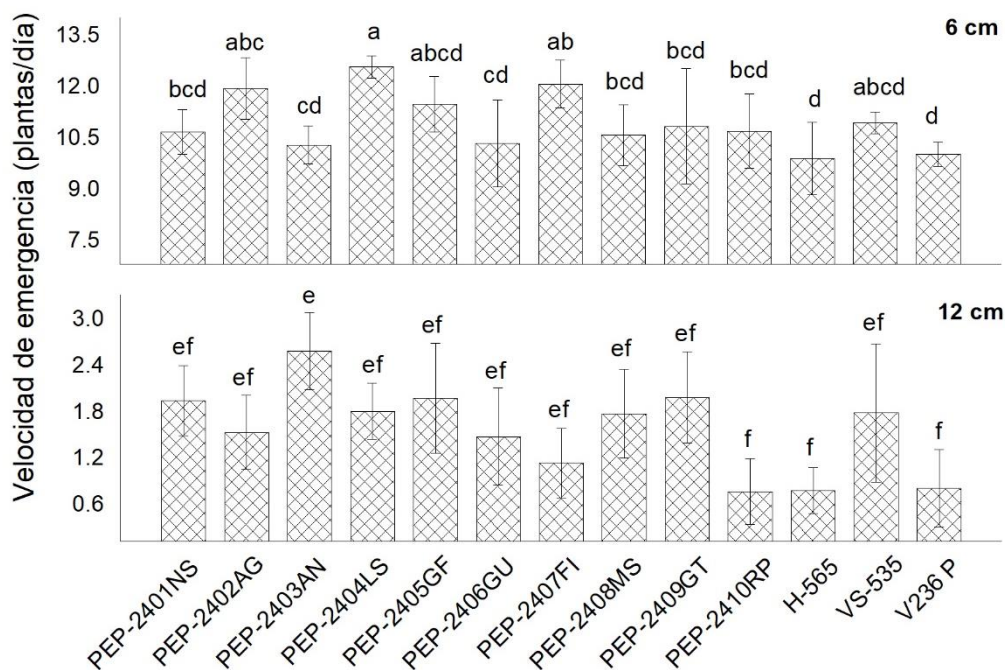


Figura 10. Velocidad de emergencia de plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla de la región Norte del estado de Guerrero, y tres variedades mejoradas sometidos a dos profundidades de siembra de semillas. Medias con letra diferente en las dos profundidades de siembra son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio \pm error estándar de la media (DMS= 1.7).

En la Figura 10 se observa que la profundidad de siembra influyó sobre el tiempo y la velocidad de emergencia. Hui-Ying *et al.* (2015) encontraron un retraso en la velocidad de emergencia de 1.5 días en semillas sembradas 9 cm, respecto de aquellas que estuvieron a una profundidad de 3 cm. Igualmente, Hussien *et al.* (2013) reportan que a medida que se incrementa la siembra a una profundidad de 12 cm, el tiempo de emergencia de plántulas se retrasa de manera significativa. Por su parte, Lima *et al.* (2022) reportaron valores diferentes en velocidad de emergencia en semillas de maíces criollos, y expresan que, la velocidad de emergencia en relación con la emergencia de las plántulas, es un indicativo de alto vigor de semillas.

Ruiz *et al.* (2012) y Martínez *et al.* (2010) encontraron diferencias estadísticas en la velocidad de emergencia de diferentes genotipos de maíz, sugiriendo que la variación en cuanto los bajos valores de velocidad de emergencia, pueden atribuirse a la constitución genética de los genotipos, ya que hay una mejor emergencia de la radícula en aquellas semillas con mayor velocidad de emergencia.

Por su parte, Pérez *et al.* (2006), encontraron una asociación estrecha con el tamaño de semilla, por medio de una correlación canónica; lo que indica que a las semillas de mayor longitud les corresponde una cantidad más grande de sustancias de reserva y un embrión de mayor tamaño, lo que podría al mismo tiempo verse reflejado en un incremento en el porcentaje y en la velocidad de emergencia de las plántulas.

Con base en lo anterior, los resultados de esta investigación apuntan a las posibles poblaciones de Pepitilla con buen vigor por su rápida emergencia de plántulas, incluso a una profundidad de 12 cm. Por ello, esta variable resulta indispensable para la identificación del vigor de semillas para la selección de materiales que cumplan con características adecuadas para la emergencia en campo.

4.5.3 Germinación

El porcentaje de germinación se estimó removiendo las plantas del almácigo para luego contar las plántulas normales, las anormales, y las semillas no germinadas. Se observaron diferencias estadísticas en las dos profundidades evaluadas registradas en

el Cuadro 7, siendo la siembra a 6 cm la que mostró mejor expresión en las variables referentes a la germinación ($p < 0.05$).

El porcentaje de germinación más alto para la siembra de menor profundidad, estuvo en un rango de 76 - 78%, que se encontró en las poblaciones PEP-2402AG y PEP-2407FI respectivamente. Sin embargo, las colectas PEP-2404LS, PEP-2405GF y PEP-2406GU, presentaron un nivel aceptable de germinación con valor de 75% para los tres genotipos. En contraste con los resultados anteriores, la germinación más baja fue para las variedades V236 P (60%) y H-565 (63%).

Con relación a la siembra de mayor profundidad, la mejor germinación se observó en Pepitilla PEP-2403AN con 20% y, de nueva cuenta, la variedad mejorada V236 P presentó el menor valor con 6%. Este resultado guarda una estrecha relación con la velocidad de emergencia y con la emergencia de las plántulas, en los que, definitivamente, la colecta PEP-2403AN presentó mejores resultados en la siembra a 12 cm de profundidad. Los genotipos que igualmente obtuvieron altos valores de germinación fueron PEP-2401NS y PEP-2409GT con 18% en ambos casos.

Referente a las plántulas anormales, se encontró un mayor porcentaje en la profundidad de 6 cm. Esto resulta coherente ya que la emergencia y el desarrollo de las plántulas fue superior comparado con la emergencia de plántulas de la siembra a 12 cm de profundidad.

Los genotipos con mayor porcentaje de anomalías en las plántulas fueron VS-535 (22%) y V236 P (21%) en la profundidad de 6 cm, y el menor valor para esta misma profundidad se encontró en PEP-2406GU (8%) y PEP-2402AG (9%). En contraparte, sólo se detectaron valores de 1 a 3% de plántulas anormales en los genotipos PEP-2407FI, PEP-2410RP y H-565, cuando las semillas fueron sometidas a una profundidad de 12 cm.

Para semillas no germinadas se obtuvo un rango de 74 a 91% en la profundidad de 12 cm. En este caso, los genotipos PEP-2404LS, PEP-2405GF, PEP-2407FI, PEP-2410RP y VS-535 presentaron la proporción más baja para esta variable, de 8 a 13%, registrado en la profundidad de 6 cm. Indiscutiblemente, la relación de SNG fue muy elevada en

contraste con la germinación; mientras que la siembra de menor profundidad tuvo un valor máximo de SNG de 21% que correspondió al H-565; mientras que en la siembra de mayor profundidad fue de 91%, que se registró en este mismo genotipo.

La viabilidad total, que se consideró como la suma de las plántulas normales (porcentaje de germinación) y las plántulas anormales, presentó diferencias estadísticamente significativas con un valor de $\alpha = 0.05$ (Cuadro 7). Esta variable, a los 6 cm de profundidad, mostró un límite inferior de 79% y un límite superior de 92%; de manera comparativa en la siembra más profunda, estos límites fueron de 10 y 26%, respectivamente. Los valores más altos para viabilidad se observaron en PEP-2404LS (92%) y PEP-2403AN (26%) a los 6 y 12 cm de profundidad. Mientras los valores más bajos los mostraron los genotipos PEP-2409GT (79%) a los 6 cm de profundidad y, PEP-2407FI, H-565, y V236 P, con un valor de 10% para los tres genotipos en la profundidad de 12 cm.

Igualmente se detectaron los genotipos que tuvieron una expresión adecuada de viabilidad total en la siembra de menor profundidad. Al respecto, las colectas PEP-2405GF y PEP-2410RP presentaron un valor de 88%; y, PEP-2401NS, PEP-2402AG y PEP-2408MS, de 85%. En comparación con lo anterior, las colectas PEP-2401NS, PEP-2404LS y PEP-2409GT mostraron un nivel aceptable con 24% de viabilidad total en la profundidad a 12 cm.

En un estudio efectuado por Wato (2019), encontró el mayor porcentaje de germinación de semillas de maíz a una profundidad de 5 cm, en contraste con profundidades de 15 cm y 20 cm. El autor reporta que esto puede suceder porque la profundidad de siembra incrementa de manera sustancial la humedad del sustrato, la temperatura, y otros factores adversos que provocan una germinación pobre.

Asimismo, Molatudi y Mariga (2009), encontraron una germinación del 90% a los 12 días después de establecido el experimento, en semillas de maíz sometidas a una profundidad de 5 cm; en contraste, aquellas que se encontraron a profundidades de 10, 15, y 20 cm, los valores correspondientes que son 65, 42.5, y 32.5%.

Cuadro 7. Respuesta de la germinación de semillas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas sometidas a dos profundidades de siembra.

Profundidad	Genotipo	PG (%)	PA (%)	SNG (%)	VT (%)
6 cm	PEP-2401NS	69 ± 1.5 abc	17 ± 1.3 abc	15 ± 1.7 cdef	85 ± 1.7 abcd
	PEP-2402AG	76 ± 2.2 a	9 ± 1.7 def	16 ± 2.9 cde	85 ± 2.9 abcd
	PEP-2403AN	67 ± 4.7 abc	16 ± 2.4 bc	18 ± 3.3 cd	83 ± 3.3 bcd
	PEP-2404LS	75 ± 2.4 ab	17 ± 2.1 abc	8 ± 2.2 g	92 ± 2.2 a
	PEP-2405GF	75 ± 3.5 ab	13 ± 2.2 cd	13 ± 2.9 defg	88 ± 2.9 abcd
	PEP-2406GU	75 ± 3.3 ab	8 ± 1.4 def	17 ± 3.8 cd	83 ± 3.8 bcd
	PEP-2407FI	78 ± 2.2 a	13 ± 1.7 cd	10 ± 1.0 efg	91 ± 1.0 ab
	PEP-2408MS	67 ± 2.8 abc	18 ± 1.8 ab	16 ± 1.7 cde	85 ± 1.7 abcd
	PEP-2409GT	69 ± 5.1 abc	10 ± 2.2 de	21 ± 3.3 c	79 ± 3.3 d
	PEP-2410RP	70 ± 3.3 abc	18 ± 3.3 ab	12 ± 3.3 defg	88 ± 3.3 abc
	H-565	63 ± 1.5 bc	17 ± 2.4 abc	21 ± 2.5 c	80 ± 2.5 cd
	VS-535	69 ± 5.7 abc	22 ± 2.6 a	10 ± 3.2 fg	90 ± 3.2 ab
	V236 P	60 ± 5.5 c	21 ± 3.6 ab	20 ± 2.6 c	81 ± 2.6 cd
12 cm	PEP-2401NS	18 ± 3.9 de	7 ± 1.3 efg	76 ± 5.1 ab	24 ± 5.1 ef
	PEP-2402AG	11 ± 3.1 fgh	6 ± 2.2 efgh	84 ± 5.1 ab	17 ± 5.1 fgh
	PEP-2403AN	20 ± 1.5 d	6 ± 1.4 efgh	74 ± 3.6 b	26 ± 3.6 e
	PEP-2404LS	11 ± 2.1 fgh	7 ± 2.5 efg	83 ± 4.3 ab	18 ± 4.3 efgh
	PEP-2405GF	16 ± 2.2 def	8 ± 1.4 def	77 ± 3.1 ab	24 ± 3.2 efg
	PEP-2406GU	11 ± 1.3 fgh	4 ± 2.2 fgh	85 ± 2.9 ab	15 ± 2.9 gh
	PEP-2407FI	9 ± 2.6 ghi	1 ± 0.6 h	90 ± 3.2 a	10 ± 3.2 h
	PEP-2408MS	13 ± 2.1 efg	8 ± 1.4 def	79 ± 3.3 ab	21 ± 3.3 efg
	PEP-2409GT	18 ± 1.5 de	6 ± 1.6 efgh	77 ± 3.0 ab	24 ± 3.0 efg
	PEP-2410RP	9 ± 1.3 ghi	2 ± 0.8 gh	90 ± 1.9 ab	11 ± 1.9 h
	H-565	7 ± 1.3 hi	3 ± 1.0 gh	91 ± 1.5 a	10 ± 1.5 h
	VS-535	15 ± 1.3 def	5 ± 1.3 fgh	81 ± 2.5 ab	20 ± 2.5 efg
	V236 P	6 ± 2.2 i	4 ± 1.4 fgh	90 ± 3.5 a	10 ± 3.5 h
	DMS	8.29	5.44	8.41	8.52

Medias con letra diferente en la misma columna, son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. PG= Porcentaje de germinación; PA= Plántulas anormales; SNG= Semillas no germinadas; VT= Viabilidad total.

De acuerdo con Pinto *et al.* (2012), las plántulas anormales pueden resultar de factores genéticos, ambientales y prácticas de manejo que conducen a la ausencia o deformidades en los diferentes órganos de las plántulas como la radícula, el mesocotilo y la plúmula; se puede suponer que el deterioro es la causa específica que conduce en las semillas al desarrollo de anomalías en la plántula. Por su parte, Varga *et al.* (2012) obtuvieron un mayor número de plántulas anormales de lotes de maíz cosechados de manera mecanizada, por lo que el daño mecánico es una característica de suma importancia para promover daños fisiológicos en las semillas e imposibilitar su adecuado desarrollo.

Adicionalmente, hay reportes que indican que la exposición a una alta temperatura, aunado al envejecimiento de las semillas, son factores que provocan anomalías en las células del ápice de la radícula, bajos niveles de germinación y malformaciones en las estructuras de las plántulas, como posible consecuencia de un aumento en la frecuencia de alteraciones cromosómicas estructurales y de mutación génica. Se ha visto que el reordenamiento cromosómico es una de las mutaciones más frecuentes que aumenta con el tiempo de almacenamiento, y que está estrechamente relacionado con la pérdida de germinación y la muerte de las semillas. Igualmente, se sugiere que el envejecimiento de las semillas tiene efectos similares a los de una radiación ionizante y a la de mutágenos químicos, lo que resulta en alteraciones de la respiración celular por daños en la mitocondria, y la consecuente baja producción de energía y de compuestos esenciales como el ATP, azúcares y moléculas de proteínas (Akhter *et al.*, 1992; Viccini y De Carvalho, 2002; Newton *et al.*, 1990; Utsunomiya *et al.*, 2002).

De este modo, las altas temperaturas que se registraron durante el desarrollo del experimento, junto con un posible deterioro de las semillas, el manejo del material vegetal previo al establecimiento de la prueba de vigor, y el estrés de la profundidad a 12 cm, pudieron ser la causa de pérdida de poder germinativo y la presencia de un alto valor de plántulas anormales, y una cantidad elevada de semillas sin germinar.

4.5.4 Vigor de plántula

En la evaluación del vigor de plántula a través del crecimiento y desarrollo de las raíces (Cuadro 8), mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en las variables estudiadas en las dos profundidades de siembra (6 y 12 cm).

Las plántulas de la siembra a 6 cm de profundidad tuvieron una mayor longitud respecto a la siembra de 12 cm; el genotipo que destacó fue PEP-2401NS con una longitud de 16.6 cm, mientras la menor longitud se registró en PEP-2406GU (11.1 cm). Por otra parte, PEP-2404LS sobresalió con una longitud de raíz principal de 11.9 cm en la siembra más profunda; los genotipos PEP-2403AN y PEP-2406GU registraron los datos más bajos con 6.0 y 5.4 cm, respectivamente.

En cuanto a la longitud de las raíces secundarias, se observó un comportamiento similar en las dos profundidades, siendo PEP-2404LS y PEP-2403AN, en la profundidad de 6 cm, los que presentaron la mayor longitud con valores de 18.4 y 17.9 cm; en la siembra de mayor profundidad, PEP-2404LS obtuvo la mayor longitud con 17.3 cm, seguido de PEP-2401NS (16.7 cm).

Respecto al número de raíces secundarias, se consideró para esta variable como raíces secundarias al conjunto de las raíces seminales y las adventicias (producidas en el mesocotilo). Para esta medición se encontró un mayor número de raíces en aquellas plántulas provenientes de la siembra de 12 cm, entre las que destacaron los genotipos PEP-2410RP (10.2 raíces), PEP-2401NS (9.9 raíces) y PEP-2403AN (9.8 raíces). Las raíces secundarias de aquellas plántulas de la siembra de menor profundidad estuvieron en un rango de 4.8 a 6.6 raíces.

Relativo al vigor de plántula mediante las estructuras de la parte aérea, mesocotilo, tallo y hojas, (Cuadro 9) también hubo diferencias estadísticas en las tres variables ($p < 0.05$). La siembra a 12 cm de profundidad generó un estrés de emergencia en las semillas, que las orilló a desarrollar un mesocotilo de mayor longitud, en comparación con la profundidad de siembra de 6 cm. En este sentido, el mesocotilo más largo fue en PEP-2410RP con 10.2 cm; la menor longitud se registró en la variedad VS-535 con 7.7 cm. Por otra parte, a los 6 cm de profundidad de siembra, los Pepitilla PEP-2409GT y PEP-

2010RP tuvieron valores de 5.1 y 4.8 cm respectivamente, mientras el resto de los genotipos se encontró en un rango de 3.7 – 4.4 cm. De nueva cuenta, la VS-535 mostró el dato más bajo.

Cuadro 8. Vigor de plántula en 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas mediante el crecimiento y desarrollo de raíces, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra.

Profundidad	Genotipo	LRP (cm)	LRS (cm)	NRS
6 cm	PEP-2401NS	16.6 ± 1.0 a	15.0 ± 1.1 cdef	5.5 ± 0.2 hi
	PEP-2402AG	12.5 ± 0.7 def	14.3 ± 0.9 defg	5.6 ± 0.2 ghi
	PEP-2403AN	12.9 ± 1.1 cde	17.9 ± 1.1 ab	5.4 ± 0.2 hi
	PEP-2404LS	15.5 ± 0.9 ab	18.4 ± 0.8 a	6.1 ± 0.2 gh
	PEP-2405GF	13.4 ± 0.8 bcd	16.0 ± 0.8 abcde	5.0 ± 0.1 hi
	PEP-2406GU	11.1 ± 0.8 efg	13.7 ± 0.9 defgh	5.4 ± 0.2 hi
	PEP-2407FI	12.3 ± 1.0 def	13.5 ± 0.8 efgh	5.0 ± 0.1 hi
	PEP-2408MS	14.9 ± 0.7 abc	16.6 ± 0.8 abcd	5.6 ± 0.2 ghi
	PEP-2409GT	12.1 ± 0.7 def	13.2 ± 0.8 fgh	5.6 ± 0.2 ghi
	PEP-2410RP	14.5 ± 0.8 abcd	17.4 ± 0.7 abc	6.6 ± 0.2 fg
	H-565	13.1 ± 0.9 cde	16.3 ± 0.9 abcde	4.8 ± 0.2 i
	VS-535	12.6 ± 0.9 de	15.9 ± 0.7 abcde	5.1 ± 0.2 hi
	V236 P	12.1 ± 0.8 def	13.8 ± 1.0 defgh	5.1 ± 0.2 fg
12 cm	PEP-2401NS	7.7 ± 0.9 hi	16.7 ± 1.6 abcd	9.9 ± 0.4 a
	PEP-2402AG	8.0 ± 0.7 ghi	13.6 ± 0.9 defgh	8.8 ± 0.5 bc
	PEP-2403AN	6.0 ± 0.7 i	16.4 ± 1.3 abcde	9.8 ± 0.5 a
	PEP-2404LS	11.9 ± 0.9 def	17.3 ± 1.8 abc	7.6 ± 0.4 def
	PEP-2405GF	8.1 ± 0.8 ghi	13.3 ± 1.0 efgh	8.5 ± 0.5 bcd
	PEP-2406GU	5.4 ± 0.6 i	11.6 ± 0.7 gh	7.2 ± 0.5 ef
	PEP-2407FI	9.9 ± 1.3 fgh	12.1 ± 0.6 fgh	8.4 ± 0.4 bcd
	PEP-2408MS	7.3 ± 0.8 hi	11.4 ± 0.7 gh	8.1 ± 0.4 cde
	PEP-2409GT	8.2 ± 0.5 ghi	15.4 ± 1.4 bcdef	9.2 ± 0.5 ab
	PEP-2410RP	6.7 ± 0.6 hi	15.6 ± 1.5 abcdef	10.2 ± 0.6 a
	H-565	8.1 ± 1.2 ghi	10.8 ± 1.0 h	8.6 ± 0.6 bcd
	VS-535	6.9 ± 0.5 hi	14.6 ± 1.2 cdefg	9.3 ± 0.5 ab
	V236 P	7.9 ± 0.9 ghi	10.7 ± 0.8 h	7.5 ± 0.4 def
DMS	2.69	2.96	1.06	

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente distintas (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. LRP= Longitud de raíz principal; LRS= Longitud de raíz secundaria; NRS= Número de raíces secundarias.

Para la longitud de tallo, se observó un comportamiento similar a la longitud del mesocotilo. Esta variable se consideró desde el eje del mesocotilo hasta la lígula de la primera hoja.

La mayor longitud de tallo fue en las plantas de la profundidad de 12 cm y, específicamente, en los genotipos PEP-2402AG (6.8 cm) y PEP-2408MS (6.5 cm). Mientras que, en las plantas de la otra profundidad de siembra, se detectaron dos grupos, el primero de ellos con rango de longitud de 3.6 – 3.9 cm; el segundo de 4.0 – 4.8 cm. El genotipo de mayor longitud fue PEP-2407FI y, el de menor longitud la V236 P.

En cuanto a la longitud de las hojas, se registraron longitudes de 35.5 cm, 35.2 cm y 35.0 cm; respectivamente para los genotipos PEP-2401NS, PEP-2403AN y PEP-2404LS, enfatizando que estas fueron superiores al resto y encontradas en la siembra a 12 cm. La V236 P tuvo la menor longitud con 22.3 cm para esta misma profundidad.

Respecto a la siembra de 6 cm se destaca el genotipo PEP-2403AN con 29 cm de longitud; empero, el H-565 presentó esta vez un desarrollo pobre para esta variable (21.2 cm).

La reducción en el crecimiento de las plántulas es el resultado de una restricción en la división y elongación celular, ya que el aumento de la profundidad de siembra reduce directamente el crecimiento al disminuir la división y elongación celular por motivo que la semilla requiere demasiada energía para romper la barrera que ejerce el sustrato sobre las mismas; en el caso de cereales, se ha encontrado que el desempeño en el crecimiento de las plantas es asociado de manera positiva a un sistema de raíces bien desarrolladas, así como otros rasgos de las plántulas como el mesocotilo, de este modo, estas estructuras de las plántulas pueden ayudar a mejorar la tolerancia al estrés por la siembra profunda (Badr *et al.*, 2020).

Por su parte, Suriyaprabha *et al.* (2012), encontraron una producción de 7 raíces secundarias y una longitud de raíz principal de 14.5 cm al evaluar el vigor de semillas de un híbrido de maíz en macetas con sustrato de composta a base de fibra de coco. Por otro lado, encontraron un mayor vigor con la aplicación de partículas nanométricas de sílica, obteniendo una producción de 8 raíces y una longitud promedio de 16.8 cm. Si bien los resultados que se muestran en los Cuadros 8 y 9 se obtuvieron de genotipos en los que no se aplicó ningún tratamiento para estimular su germinación o vigor, representan un área de oportunidad por motivo que puede haber una mejora en el

desarrollo radicular, del mesocotilo, del tallo, o de las hojas, que permitan un mejor establecimiento y una mayor tolerancia al estrés ejercido por el sustrato.

Cuadro 9. Vigor de plántula en 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas mediante el crecimiento de las estructuras de la parte aérea, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra.

Profundidad	Genotipo	LM (cm)	LT (cm)	LH (cm)
6 cm	PEP-2401NS	4.1 ± 0.1 hi	4.0 ± 0.1 klm	25.6 ± 0.9 fgh
	PEP-2402AG	4.4 ± 0.1 gh	3.9 ± 0.1 lm	25.6 ± 0.7 fgh
	PEP-2403AN	4.2 ± 0.1 hi	3.9 ± 0.1 lm	29.0 ± 0.7 cde
	PEP-2404LS	4.0 ± 0.1 hi	4.4 ± 0.1 ijkl	26.3 ± 0.6 efg
	PEP-2405GF	4.0 ± 0.1 hi	4.3 ± 0.1 ijkl	27.9 ± 1.0 def
	PEP-2406GU	4.3 ± 0.2 h	3.8 ± 0.1 lm	24.8 ± 0.7 fgh
	PEP-2407FI	4.2 ± 0.1 hi	4.8 ± 0.3 fgh	26.7 ± 0.9 efg
	PEP-2408MS	4.1 ± 0.2 hi	4.7 ± 0.3 ghi	26.6 ± 0.6 efg
	PEP-2409GT	5.1 ± 0.1 f	3.7 ± 0.1 m	25.0 ± 0.8 fgh
	PEP-2410RP	4.8 ± 0.2 fg	3.9 ± 0.1 lm	27.5 ± 0.7 efg
	H-565	4.0 ± 0.1 hi	3.8 ± 0.1 lm	21.2 ± 0.6 i
	VS-535	3.7 ± 0.1 i	3.7 ± 0.1 m	23.9 ± 0.5 gh
	V236 P	4.0 ± 0.1 hi	3.6 ± 0.1 m	23.1 ± 0.7 hi
12 cm	PEP-2401NS	8.8 ± 0.3 cd	5.1 ± 0.3 defg	35.5 ± 1.5 a
	PEP-2402AG	8.8 ± 0.2 cd	6.8 ± 0.2 a	31.2 ± 1.0 bcd
	PEP-2403AN	9.4 ± 0.3 bc	5.5 ± 0.3 cd	35.2 ± 1.4 a
	PEP-2404LS	9.8 ± 0.6 ab	3.7 ± 0.3 m	35.0 ± 2.1 a
	PEP-2405GF	8.8 ± 0.2 cd	4.9 ± 0.4 efgh	33.2 ± 1.9 ab
	PEP-2406GU	8.5 ± 0.3 d	6.0 ± 0.3 bc	28.2 ± 2.2 def
	PEP-2407FI	9.1 ± 0.4 bcd	4.8 ± 0.3 fgh	27.7 ± 2.6 def
	PEP-2408MS	8.7 ± 0.3 d	6.5 ± 0.3 ab	29.0 ± 2.1 cde
	PEP-2409GT	8.7 ± 0.3 d	5.4 ± 0.2 cde	32.6 ± 1.3 abc
	PEP-2410RP	10.1 ± 0.3 a	5.4 ± 0.4 cdef	32.3 ± 1.5 abc
	H-565	9.2 ± 0.9 bcd	4.5 ± 0.4 ghijk	23.6 ± 2.3 ghi
	VS-535	7.7 ± 0.3 e	4.5 ± 0.3 hijk	27.9 ± 0.8 def
	V236 P	8.8 ± 0.3 cd	5.0 ± 0.3 defgh	22.3 ± 3.2 hi
DMS	0.63	0.56	2.03	

Medias con letra diferente en la misma columna son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. LM= Longitud de mesocotilo; LT= Longitud de tallo; LH= Longitud de hoja.

Martínez *et al.* (2010), encontraron una longitud de parte aérea en un rango de 10.1 – 18.5 cm, y de raíz principal de 21.2 a 38.4 cm en 12 genotipos de maíz a un tamaño de muestra de 100 semillas evaluadas a los 15 días de establecida una prueba de emergencia. Definitivamente los valores que reportan los autores son muy elevados en comparación con los que se encontraron en esta prueba de profundidad de siembra; sin

embargo, el experimento que reportan se realizó bajo condiciones controladas en laboratorio, en charolas plásticas a temperatura de 18 – 20 °C, empleando peat-moss como sustrato y la siembra a 2 cm de profundidad.

Contrario con lo anterior, Molatudi y Mariga (2009), expresan que la profundidad de siembra influyó en la altura de las plántulas a las dos semanas de plantación, de tal manera que la altura tuvo un decremento a medida que se aumentaba la profundidad. Así, las plántulas sembradas a 20 cm mostraron las plántulas más cortas con 3.0 cm de altura, que las que estuvieron a 5 cm (4.9 cm) y 10 cm (3.5 cm) de profundidad. Hussen *et al.* (2013), obtuvieron resultados similares a los antes mencionados, pues la plantación más profunda (12 cm) promovió el menor número de hojas y la menor altura de planta, en contraste con las plántulas sembradas a 6 cm que arrojaron los mejores valores.

Hui-Ying *et al.* (2015), pronuncian que, con el aumento en la profundidad de siembra, la altura de las plántulas y la uniformidad disminuyen significativamente, el mesocotilo tiende a elongarse, mientras el coleoptilo no presenta tal comportamiento; la longitud de la raíz primaria se reduce de manera gradual y la longitud de la raíz secundaria aumenta paulatinamente.

Los resultados obtenidos en esta evaluación de vigor concuerdan en su mayoría con lo citado con antelación, pues en la siembra efectuada a 12 cm de la superficie del sustrato se vio una disminución en la longitud de la raíz principal pero un aumento en la longitud y en el número de raíces secundarias; igualmente, el mesocotilo presentó una elongación casi al doble que las plántulas de 6 cm de profundidad. La longitud del tallo no presentó una mayor variación en las plántulas de las dos profundidades.

Por lo tanto, la selección de genotipos con características tolerantes al estrés que ejerce la profundidad de siembra en la emergencia y el desarrollo de las plántulas, resulta indispensable para desarrollar cultivares que se adapten a diversos tipos de estrés de acuerdo con la región.

El mesocotilo del maíz es el órgano crucial que empuja a los brotes para emerger por encima del suelo, después de la germinación de las semillas; ante esto, éste puede servir

como una característica de selección para evaluar la tolerancia al estrés en una etapa temprana de la plántula (Niu *et al.* 2020).

4.5.5 Diámetro de tallo

El diámetro de tallo es una variable por la cual se puede establecer el vigor de la semilla. En este caso, hubo diferentes grosores registrados en esta prueba de vigor (Figura 11). Los genotipos que tuvieron el mayor grosor fueron PEP-2410RP (3.62 mm), PEP-2401NS (3.60 mm) y PEP-2403AN (3.59 mm), en la profundidad de 12 cm y, únicamente el PEP-2401NS a los 6 cm de profundidad de siembra presentó un tallo de grosor considerable (3.48 mm).

El menor diámetro se registró en la V236 P y PEP-2409GT en la siembra de menor profundidad, cuyos valores fueron de 2.68 y 2.61 mm, respectivamente. Para el caso de las semillas sometidas a mayor profundidad, el menor grosor se obtuvo en la V236 P (2.8 mm) y el H-565 con 2.9 mm.

Con relación a lo anterior, se sugiere que el diámetro de la plúmula de maíz se reflejará en el vigor del tallo en campo, por tal motivo su evaluación se considera de suma importancia para detectar en etapas tempranas las características que dan indicios sobre su vigor cuando son sometidas a condiciones desfavorables para su desarrollo. Ante esto, Estrada-Urbina *et al.* (2018), encontraron un diámetro de plúmula de 1.6 mm en plántulas de semillas de una raza de maíz rojo al evaluar su vigor por medio del envejecimiento acelerado; igualmente, Sinha y Ghildyal (1979), reportan un diámetro de plúmula de 1.8 mm en plántulas de maíz al evaluar su fuerza de emergencia.

Por su parte, Sadat-Noori *et al.* (2008), reportan que las plántulas emergidas bajo estrés salino, presentan afectaciones en su crecimiento, por lo que este factor muestra alrededor de un 30% en la reducción del diámetro de tallo, con relación a aquellas plántulas sin estrés.

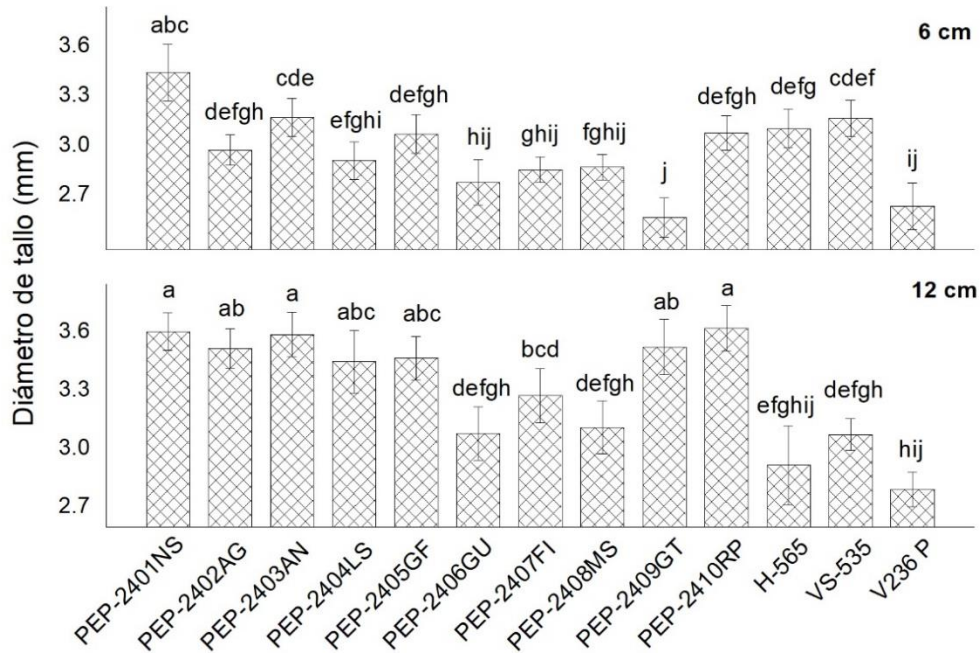


Figura 11. Vigor de plántula mediante el grosor del tallo de plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas, en dos profundidades de siembra.

No obstante, durante la emergencia de las plántulas, la elongación del mesocotilo influye principalmente en la heterosis de un híbrido de maíz en comparación con sus líneas parentales correspondientes. Sin embargo, la plúmula que contiene el potencial para todos los rasgos adultos de las plantas, determina la manifestación de la heterosis de esos rasgos en los híbridos. Por tanto, la plúmula, como centro de expresión genética y regulación del desarrollo de las plántulas de maíz, representa un sistema esencial para vislumbrar el mecanismo genético de la emergencia y el vigor de las plántulas (Jin *et al.*, 2014).

4.5.6 Producción de biomasa

Los resultados del peso fresco del tejido de la raíz (Cuadro 10), mostraron el mayor valor para Pepitilla PEP-2403AN con 2.64 g; H-565 fue el de menor peso (1.02 g); esto en la profundidad de 6 cm. El resto de los genotipos en ambas profundidades se mantuvo en un rango intermedio.

De manera paradójica, la variedad mejorada V236 P tuvo el mayor peso seco de raíz (304 mg) cuando se comparó con PEP-2409GT, H-565 y VS-535, los cuales tuvieron

respectivamente pesos de 111, 107 y 113 mg, en las plantas provenientes de la siembra de menor profundidad.

Al respecto, con la siembra de 12 cm, Pepitilla PEP-2402AG se mostró superior con un peso seco de 270 mg, en contraste con PEP-2406GU (127 mg), H-565 (105 mg) y V236 P (98 mg).

En relación con el contenido de materia seca, los resultados fueron variados en ambas profundidades de siembra. Sin embargo, destaca que los genotipos que produjeron una mayor cantidad de materia seca de raíz fueron las plantas removidas de la profundidad de 12 cm (PEP-2403AN con 23.2%; PEP-2404LS con 23.8%; y PEP-2406GU con 24.7%). La menor producción fue a la profundidad de 6 cm en V236 P con 10.3%, y VS-535 con 9.1%.

Respecto al peso fresco de la parte aérea (Cuadro 11), los datos superiores fueron en la siembra de mayor profundidad en los genotipos Pepitilla PEP-2402AG, PEP-2403AN, PEP-2405GF y PEP-2401NS, con valores de 4.25, 3.74, 3.68 y 3.59 g, correspondientemente. Solo V236 P arrojó un dato similar a los que se observaron en la siembra de 6 cm, con 1.91 g.

De manera general, la profundidad de 6 cm tuvo pesos frescos en un rango de 1.39 g – 1.95 g; no obstante, el dato que se encontró por debajo de ese rango fue de 1.33 g (H-565), y el que estuvo por encima fue de 2.47 g (PEP-2403AN).

En lo que al peso seco respecta, se detectó un comportamiento similar al peso fresco; es decir, los genotipos que presentaron mayor peso fresco también presentaron mayor peso seco, aunque no fue general. En su caso, los Pepitilla PEP-2402AG (468 mg), PEP-2405GF (394 mg), y PEP-2403AN (393 mg) fueron los que más peso seco presentaron; por otro lado, la V236 P obtuvo el menor valor con 202 mg; esto en la siembra de mayor profundidad. En la siembra a 6 cm de profundidad, PEP-2403AN tuvo el mayor peso (198 mg); en tanto que en la profundidad de 12 cm, la V236 P mostró el menor peso seco con 111 mg.

Cuadro 10. Estimación de la biomasa en el tejido de la raíz de las plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra.

Profundidad	Genotipo	PFR (g)	PSR (mg)	CMSR (%)
6 cm	PEP-2401NS	1.20 ± 0.17 bcd	163 ± 39 bc	21.6 ± 3.2 ab
	PEP-2402AG	1.30 ± 0.36 bcd	135 ± 34 bc	19.1 ± 4.4 abcde
	PEP-2403AN	2.64 ± 0.76 a	211 ± 6 abc	17.8 ± 3.0 abcdef
	PEP-2404LS	1.52 ± 0.14 abcd	180 ± 6 abc	13.2 ± 1.6 cdefg
	PEP-2405GF	1.83 ± 0.38 abcd	165 ± 3 bc	20.0 ± 1.8 abc
	PEP-2406GU	1.64 ± 0.36 abcd	159 ± 41 bc	15.3 ± 1.0 bcdefg
	PEP-2407FI	1.53 ± 0.34 abcd	148 ± 13 bc	18.1 ± 3.5 abcde
	PEP-2408MS	2.06 ± 0.58 abcd	182 ± 3 abc	17.8 ± 2.9 abcdef
	PEP-2409GT	1.13 ± 0.41 cd	111 ± 5 c	19.9 ± 3.0 abcd
	PEP-2410RP	1.57 ± 0.29 abcd	142 ± 4 bc	14.3 ± 1.8 bcdefg
	H-565	1.02 ± 0.35 d	107 ± 10 c	12.1 ± 2.1 defg
	VS-535	1.27 ± 0.24 bcd	113 ± 5 c	9.1 ± 0.7 g
	V236 P	1.20 ± 0.50 bcd	304 ± 43 a	10.3 ± 1.1 fg
12 cm	PEP-2401NS	1.63 ± 0.48 abcd	219 ± 41 abc	17.7 ± 3.3 abcdef
	PEP-2402AG	2.05 ± 0.27 abcd	270 ± 35 ab	18.6 ± 3.4 abcde
	PEP-2403AN	2.13 ± 0.51 abc	212 ± 13 abc	23.2 ± 2.3 a
	PEP-2404LS	1.51 ± 0.49 abcd	214 ± 10 abc	23.8 ± 3.0 a
	PEP-2405GF	1.68 ± 0.31 abcd	146 ± 6 bc	22.7 ± 4.8 ab
	PEP-2406GU	1.31 ± 0.28 bcd	127 ± 2 c	24.7 ± 2.3 a
	PEP-2407FI	1.28 ± 0.33 bcd	180 ± 13 abc	21.3 ± 4.5 abc
	PEP-2408MS	1.79 ± 0.15 abcd	181 ± 2 abc	22.0 ± 2.5 ab
	PEP-2409GT	1.17 ± 0.33 bcd	142 ± 17 bc	22.1 ± 4.2 ab
	PEP-2410RP	2.34 ± 0.65 ab	162 ± 3 bc	17.4 ± 4.0 abcdef
	H-565	1.45 ± 0.28 abcd	105 ± 5 c	11.2 ± 2.5 efg
	VS-535	1.25 ± 0.04 bcd	134 ± 3 bc	10.7 ± 0.5 efg
	V236 P	1.17 ± 1.19 cd	98 ± 10 c	10.1 ± 1.7 fg
DMS	1.14	0.13	7.6	

Medias con letra diferente en la misma columna en cada profundidad de siembra, son estadísticamente distintas (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. PFR= Peso fresco de la raíz; PSR= Peso seco de la raíz; CMSR= Contenido de materia seca de la raíz.

Además de la importancia que tiene el peso fresco y peso seco en el tejido de las plantas, se calculó el contenido de materia seca expresado en porcentaje. De este modo se encontró que PEP-2410RP a una siembra de 12 cm de profundidad, presentó un porcentaje de materia seca superior al resto de los genotipos (16.8%). El segundo de mayor producción fue PEP-2406GU con 12.5%, pero en la profundidad de 6 cm.

Martínez *et al.* (2010), encontraron valores de 0.5 a 0.87 g en peso seco de parte aérea en plántulas de 12 genotipos de maíz evaluadas en una prueba de emergencia. Los

autores tomaron 40% de plántulas de cada repetición al azar, y los resultados que reportan corresponden a un grupo de plántulas. Por otro lado, Tadeo-Robledo *et al.* (2010), registraron para peso fresco de plántula, valores de 10.6 - 13.03 g, y de peso seco 0.45 – 0.73 g en la variedad de maíz Oro Plus; en la raíz, estos valores fueron de 306 g en plántulas de semilla pequeña y 3.65 g en las de semilla grande, y el peso seco fue en orden respectivo de 1.53 g y 1.43 g.

Asimismo, se considera que las variables relacionadas con la producción de biomasa, como el caso del peso seco producido por las plántulas son los mejores indicadores para identificar los genotipos con alto vigor de semillas; asimismo, es posible predecir el porcentaje de establecimiento en campo, mediante los pesos secos de la raíz y de la parte aérea (Hernández *et al.*, 2000).

Otros reportes mencionan que el caso del estrés salino reduce casi al 50% el peso de la raíz. Esto puede ser como consecuencia de que las plántulas deben emplear una mayor proporción de carbohidratos de la raíz para generar ATP para la osmorregulación, y, por ende, deja de estar disponible para la reducción de nitrato o la asimilación de amonio (Rios-González *et al.*, 2002). Pero incluso en condiciones óptimas, ocurren diversos procesos metabólicos que producen especies reactivas con oxígeno como resultado del estrés inducido (temperatura, salinidad, sequía, profundidad de siembra), provocando así una menor producción de biomasa en las plántulas.

El potencial fotosintético es una función de la radiación fotosintética activa, y el estrés por nitrógeno, calor y agua, que derivan en la biomasa total producida. De estos factores, el estrés por agua es el más importante que afecta la acumulación de contenido de materia seca. Por tanto, los efectos del estrés hídrico sobre la producción fotosintética pueden ser demasiado fuertes, suprimiendo notablemente el proceso fotosintético y la consecuente limitación en el crecimiento de las plántulas (Song y Jing, 2020).

Cuadro 11. Estimación de la biomasa en el tejido de la parte aérea de las plántulas de 10 genotipos de maíz raza Pepitilla y tres variedades mejoradas, provenientes de la prueba de vigor por profundidad de siembra.

Profundidad	Genotipo	PFFPA (g)	PSPA (mg)	CMSPA (%)
6 cm	PEP-2401NS	1.82 ± 0.15 ghi	180 ± 13 ijk	9.9 ± 0.2 b
	PEP-2402AG	1.72 ± 0.13 ghi	163 ± 14 ijkl	9.5 ± 0.2 b
	PEP-2403AN	2.47 ± 0.32 defg	198 ± 12 hi	8.3 ± 0.9 b
	PEP-2404LS	1.78 ± 0.06 ghi	167 ± 5 ijk	9.4 ± 0.6 ab
	PEP-2405GF	1.85 ± 0.25 fghi	186 ± 7 ij	11.0 ± 2.3 ab
	PEP-2406GU	1.54 ± 0.32 hi	154 ± 8 ijkl	12.5 ± 4.2 ab
	PEP-2407FI	1.95 ± 0.15 fghi	180 ± 21 ijk	9.4 ± 1.2 b
	PEP-2408MS	1.74 ± 0.28 ghi	177 ± 5 ijk	11.2 ± 2.1 ab
	PEP-2409GT	1.56 ± 0.25 hi	156 ± 3 ijkl	10.7 ± 1.6 ab
	PEP-2410RP	1.88 ± 0.08 fghi	159 ± 6 ijkl	8.5 ± 0.3 b
	H-565	1.33 ± 0.18 i	128 ± 8 kl	10.2 ± 1.6 b
	VS-535	1.56 ± 0.09 hi	140 ± 5 jkl	9.0 ± 0.5 b
	V236 P	1.39 ± 0.23 hi	111 ± 5 l	8.4 ± 0.9 b
12 cm	PEP-2401NS	3.59 ± 0.29 ab	323 ± 49 cd	8.9 ± 0.9 b
	PEP-2402AG	4.25 ± 0.22 a	468 ± 54 a	11.2 ± 1.6 ab
	PEP-2403AN	3.74 ± 0.14 ab	393 ± 34 b	10.5 ± 0.7 ab
	PEP-2404LS	2.92 ± 0.32 bcde	325 ± 15 cd	11.6 ± 1.6 ab
	PEP-2405GF	3.68 ± 0.10 ab	394 ± 15 b	10.7 ± 0.5 ab
	PEP-2406GU	3.01 ± 0.22 bcde	301 ± 12 def	10.2 ± 0.8 ab
	PEP-2407FI	2.89 ± 0.01 bcde	315 ± 3 cde	10.9 ± 0.1ab
	PEP-2408MS	3.31 ± 0.26 bc	317 ± 9 cd	9.8 ± 0.9 b
	PEP-2409GT	3.20 ± 0.54 bcd	354 ± 2 bcd	11.7 ± 2.0 ab
	PEP-2410RP	3.06 ± 0.81 bcde	361 ± 22 bc	16.8 ± 6.6 a
	H-565	2.68 ± 0.54 cdef	258 ± 21 efg	10.2 ± 1.6 ab
	VS-535	2.24 ± 0.14 efgh	251 ± 19 fgh	11.2 ± 0.4 ab
	V236 P	1.91 ± 0.12 fgh	202 ± 9 ghi	10.7 ± 0.7 ab
DMS	0.813	0.056	6.7	

Medias con letra diferente en la misma columna en cada profundidad de siembra, son estadísticamente diferentes (DMS $p < 0.05$). Valor promedio ± error estándar de la media. PFFPA= Peso fresco de la parte aérea; PSPA= Peso seco de la parte aérea; CMSPA= Contenido de materia seca de la parte aérea.

La acumulación de materia seca se considera un excelente indicador de la tolerancia al estrés y, los cambios relativos a las condiciones de control, se pueden utilizar para discriminar los genotipos que son tolerantes al estrés, de aquellos que son susceptibles; la disminución en el contenido de agua de peso fresco a peso seco, es causado principalmente por estrés osmótico inducido (Galic *et al.*, 2020).

En una raíz que crece a través del suelo, la presión hidrostática dentro de la vacuola celular se opone a la presión de la pared celular y a la presión aplicada externamente

por el suelo, surgiendo una reacción del suelo a la deformación de la raíz; la presión hidrostática en las células de la punta de la raíz está determinada por el potencial osmótico de la savia vacuolar, el potencial químico del agua en el suelo y la magnitud de cualquier caída potencial requerida para proporcionar un flujo de agua a la raíz (Greacen y Oh, 1972). Consecuentemente estos factores provocan una reducción en el desarrollo de las plántulas, en la capacidad fotosintética, y en la producción de fotoasimilados, resultando en una baja acumulación de materia seca.

4.6 CONCLUSIONES

La germinación es el componente por el cual se determina la calidad fisiológica de las semillas. En este caso, se observaron diferencias estadísticas en las dos profundidades de siembra evaluadas; las semillas sometidas a 12 cm de profundidad promovieron una menor germinación y plántulas anormales, así como la mayor cantidad de semillas no germinadas.

En cuanto al vigor de plántula, se detectó que los tejidos de la raíz y de la parte aérea arrojaron la información necesaria para catalogar los genotipos de acuerdo con su capacidad para generar plántulas mejor desarrolladas, lo que fue corroborado mediante el grosor de tallo. Por otra parte, la producción de biomasa es un aspecto fundamental que relaciona la actividad metabólica y fotosintética de las plantas, y que puede ser considerado como un componente del vigor y la calidad de las semillas, en función de la cantidad de materia seca capaz de ser producida.

CONCLUSIONES GENERALES

La semilla de maíz Pepitilla no cumple con el estándar de pureza física establecido en la Regla para la Calificación de Semillas de Maíz de 99% mínimo, debido a que las colectas contiene altos niveles de materia inerte y otras semillas. Pero, estos estándares aplican para variedades mejoradas que se encuentran inscrita ante el SNICS, por lo que el registro no es una limitante para la obtención de una semilla de calidad.

En cuanto a la semilla del maíz Pepitilla, se encontró que el grano es largo y delgado en espesor; por otra parte, el peso volumétrico es muy bajo en estas colectas pero, el peso de 1000 semillas es muy variado. Estos resultados indican que hay genotipos que a mayor peso de 1000 semillas tienen mayor peso volumétrico. El contenido de humedad no mostró variación debido a las condiciones de almacenamiento del material vegetal.

La prueba de germinación mostró las colectas que promueven una mayor cantidad de plántulas normales y la menor proporción de plántulas anormales y semillas sin germinar. Igualmente, en el vigor de plántula se identificó que el número de raíces secundarias y la longitud de mesocotilo fueron las características que presentaron mayor variación en los datos y que supone una mejor comprensión sobre el vigor de plántula. Para la biomasa, los pesos frescos y secos de los tejidos de la raíz y parte aérea presentaron alta variabilidad; sin embargo, se presume que el contenido de materia seca puede ser uno de los mejores indicativos de aquellos genotipos con alto vigor por una mayor concentración de biomoléculas.

En la prueba de emergencia de la radícula se registró un alto porcentaje de protrusión, pero incluso, en varias colectas de Pepitilla, la emergencia de radícula fue igual a la protrusión, de manera contrastante con las variedades mejoradas en la cuales se encontró una reducción hasta del 50% en la emergencia de radícula. En contraparte, la prueba de imbibición indicó que el maíz Pepitilla no absorbe más de la mitad de agua, con relación al peso de la semilla; no obstante, a las 36 h presenta un alto porcentaje de ruptura de testa y con indicios de emergencia de la radícula.

En la prueba de profundidad de siembra se observó que las colectas de Pepitilla tienen mayor vigor de semilla que las tres variedades mejoradas empleadas como grupo

control, en virtud de que en la emergencia de plántulas a los 12 cm de profundidad, pese a que la máxima emergencia fue menor a 30%, el maíz Pepitilla mostró superioridad. Igualmente, la velocidad de emergencia presentó variación en las dos profundidades evaluadas, pero el estrés de la siembra a los 12 cm mostró los genotipos con mayor velocidad de emergencia; de manera contrastante, se encontró una mayor cantidad de semillas sin germinar en la siembra más profunda. Respecto al vigor de plántula, se identificó que el número de raíces secundarias y la longitud de mesocotilo pueden ser dos características indispensables para evaluar el vigor de plántula. La producción de biomasa mostró variación en los resultados de peso fresco y peso seco; sin embargo, en el contenido de materia seca no hubo diferencias entre algunos genotipos.

LITERATURA CITADA

- Adegbuyi, E. y Burris J. S. (1989). Effects of seed vigor on crop characters in uniform and reduced populations of corn *Zea Mays* L. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 162(1), 10-20.
- Afzal, I., Noor, M. A., Bakhtavar, M. A., Ahmad, A. y Haq, Z. (2015). Improvement of spring maize performance through physical and physiological seed enhancements. *Seed Science and Technology*, 43, 238-249.
- Akhter, F. N., Kabir, G., Mannan, M. A. y Shaheen, N. N. (1992). Aging effect of wheat and barley seeds upon germination mitotic index and chromosomal damage. *Journal of Islamic Academy of Sciences*, 5(1), 44-48.
- Antuna, O., Rincón, F., Gutiérrez, E., Ruiz, N. A. y Bustamante, L. (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1), 11-17.
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C. y Alzate-Román, K. (2017). Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 225-231.
- Badr, A. El-Shazly, H. H., Trawneh, R. A. y Borner, A. (2020). Screening for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) germplasm using germination and seedling traits under simulated drought conditions. *Plants*, 9, 565.
- Biasutti, C. A. y Galiñanes, V. A. (2001). Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *Agriscientia*, 18, 37-44.
- Blacklow, W. M. (1972). Mathematical description of the influence of temperature and seed quality on Imbibition by seeds of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, 12(5), 643-646.
- Blanco, Y., Afifi, M. y Swanton, C. J. (2015). Efecto de la calidad de la luz en el cultivo del maíz: una herramienta para el manejo de plantas arvenses. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 62-71.
- Bolívar, C. E., Méndez, N. J. R. y Otahola, G. V. A. (2007). Germinación y el crecimiento de plántulas de maíz en laboratorio, invernadero y campo. *Revista de Agricultura Tropical*, 36, 23-33.
- Bonilla, B. N. (2014). Guía técnica: Buenas prácticas de acondicionamiento de semillas de granos básicos; Infraestructura, y equipamiento. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Programa "Apoyo a la producción de semilla de granos básicos para la seguridad alimentaria de Nicaragua". República de Nicaragua. 132 p.

- Bradford, K. J. (1990). A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology*, 94, 840-849.
- Carranza-González, S., Carballo-Carballo, A., Villaseñor-Mir, H. E., Hernández-Livera, A. y Elena-Ramírez, M. (2022). Calidad física de semilla en 24 variedades mejoradas de trigo liberadas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 827-840.
- Carvajal, C., Márquez, M., Gutierrez, B., González-Vera, A., Arellano, J. y Avila, M. (2017). Aspectos de fisiología, deterioro y calidad en semilla de soya. *Edición Especial de la Revista Alcance*, 73, 76-92.
- Castro, E. De M., Oliveira, J. A., Lima, A. E., Dos Santos, H. O. y Lopes, B. J. I. (2016). Physiological quality of soybean seeds produced under artificial rain in the pre-harvesting period. *Journal of Seed Science*, 38(1), 14-21.
- Celis-Velázquez, R., Peña-Valdivia, C. B., Luna-Cavazos, M., Aguirre-Rivera, J. R., Carballo-Carballo, A. y Trejo-López, C. (2008). Variabilidad morfológica seminal y del vigor inicial de germoplasma mejorado de frijol. *Agronomía Mesoamericana*, 19(2), 179-193.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1991). Programa continuado de capacitación en semillas: control de calidad en el campo, beneficio y almacenamiento de semillas. Cali, Colombia. 261 p.
- Cervantes, O. F., García, De los S. G., Carballo-Carballo, A., Bergvinson, D., Crossa, J. L., Mendoza-Elos, M. y Moreno-Martínez, E. (2006). Análisis dialéctico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México*, 32(1), 77-87.
- Cervantes-Ortiz, F., García-De los Santos, G., Carballo-Carballo, A., Bergvinson, D., Crossa, J. L., Mendoza-Elos, M. y Moreno-Martínez, E. (2007). Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia*, 41(4), 425-433.
- Chinnasamy, G. P., Sundareswaran, S., Renganayaki, P. R. y Vetrivel M. (2021). Radicle emergence test as a quick vigour test to predict field emergence performance in rice (*Oryza sativa* L.) seed lots. *Journal of Applied and Natural Science*, 13, 86-93.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020a). Grupo Dentados tropicales. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-DentadosT>; el 20 de abril del 2021.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020b). Grupo Dentados tropicales. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-DentadosT/Pepitilla>; el 20 de abril del 2021.

- Criollo, R. H., Lagos, B. T. C. y Ruiz, E. H. (2000). Calidad de la semilla de maíz utilizada en algunas zonas maiceras de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 21-34.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2018). Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15-06-2007. Última reforma el 11-05-2018.
- Díaz, C. G. T., Sabando, Á. F. A., Zambrano, M. A. y Vásconez, M. G. H. (2009). Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de Los Ríos. *Ciencia y Tecnología*, 3, 15-23.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85.
- Durán-Hernández, D., Gutierrez-Hernández, G. F., Arellano-Vázquez, J. L., García-Ramírez, E. y Virgen-Vargas, J. (2011). Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 11-20.
- Egli, D. B. y Rucker, M. (2012). Seed vigor and the uniformity of emergence of corn seedlings. *Crop Science*, 52, 2774-2782.
- Ermis, S. Karshoglu, M., Ozden, E. y Demir, E. (2015). Use of a single radicle emergence count as a vigour test in prediction of seedling emergence potential of leek seed lots. *Seed Science and Technology*, 43, 308-312.
- Escobar-Álvarez, J. L., Ramírez-Reynoso, O., Saguilán, P. C., Gutiérrez-Dorado, R., de los Ángeles Maldonado-Peralta, M. y Valenzuela-Lagarda, J. L. (2021). Viabilidad y germinación en semillas de maíz criollo del estado de Guerrero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(II).
- Espinosa-Paz, N., Martínez-Sánchez, J., Ariza-Flores, R., Cadena-Iñiguez, P., Hernandez-Maldonado, M. y Ramírez-Córdova, A. L. (2017). Germinación de semillas de variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) bajo déficit hídrico. *Agro Productividad*, 10(9), 41-47.
- Estrada-Urbina, J., Cruz-Alonso, A., Santander-González, M., Méndez-Albores, A. y Vázquez-Durán, A. (2018). Nanoscale zinc oxide particles for improving the physiological and sanitary quality of a mexican landrace of red maize. *Nanomaterials*, 8, 247.
- Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L. A. y Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 275-283.
- Ferreira, V. De F., Oliveira, J. A., Ferreira, T. F., Reis, L. V., De A. V. y Neto, J. C. (2013). Quality of maize seeds harvested and husked at high moisture levels. *Journal of Seed Science*, 35(3), 276-283.

- Fyfield, T. P. y Gregory, P. J. (1989). Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. *Journal of Experimental Botany*, 40(215), 667-674.
- Galic, V., Mazur, M., Simic, D., Zdunic, Z. y Franic, M. (2020). Plant biomass in salt-stressed young maize plants can be modelled with photosynthetic performance. *Photosynthetica*, 58, 194-204.
- Gallo, C., Arango, M. y Craviotto, R. (2017). Una prueba nueva para estimar el vigor en lotes de semillas: Prueba de Emergencia de Radícula. *Para Mejorar la Producción*. INTA Oliveros, 56, 1-8.
- García-López, J. I., Ruiz-Torres, N. A., Lira-Saldivar, R. H., Vera-Reyes, I. y Méndez-Argüello, B. (2016). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. En: *Segundo simposio-taller de Agronano Tecnología*, 129,140.
- García-Rodríguez, J. J., Ávila-Perches, M. A., Gámez-Vázquez, F. P., O-Olán, Micaela. y Gámez-Vázquez, A. J. (2018). Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(1), 31-37.
- Ghassemi-Golezani, K., Tajbakhsh, Z. y Raey, Y. (2011). Seed development and quality in maize cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 178-182.
- Gómez-Montiel, N. O., Coutiño-Estrada, B. y Trujillo-Campos, A. (2015). Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Noroeste. Informe final Estados: Guerrero, Chiapas y Morelos, proyecto No. FZ016, México D.F. 24 p.
- Gómez-Montiel, N, O., Cantú-Almaguer, M, Á., Hernández-Galeno, C, Á., Vázquez-Carrillo, M, G., Aragón-Cuevas, F., Espinosa-Calderón, A. y Palemón-Alberto, F. (2014). V-236 P, cultivar de maíz Pepitilla para regiones de montaña baja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1309-1313.
- Greacen, E. L. y Oh, J. S. (1972). Physics of root growth. *Nature New Biology*, 235(53), 24-25.
- Guadarrama, E. A. (2009). Efecto de la profundidad de siembra y uso de biorreguladores en la emergencia de cinco especies de gramíneas forrajeras. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Buenavista. Tesis de Maestro Profesional, 107 p.

- Guillén-De la Cruz, P., Velázquez-Morales, R., De la Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C. y Osorio-Osorio, R. (2018). Germinación y vigor de semillas de poblaciones de maíz con diferente proporción de endospermo vítreo. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Science*, 34(2), 108-117.
- Gutiérrez-Hernández, G. F., Vázquez-Ramos, J. M., García-Ramírez, E., Franco-Hernández, M. O., Arellano-Vázquez, J. L. y Durán-Hernández, D. (2011). Efecto del envejecimiento artificial de semillas de maíces criollos azules en su germinación y huella genómica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2), 77-84.
- Gutiérrez-Hernández, G. F., Virgen-Vargas, J. y Arellano-Vázquez, J. L. (2007). Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *Agronomía Mesoamericana*, 18(2), 163-170.
- Han, C. y Yang, P. (2015). Studies on the molecular mechanisms of seed germination. *Proteomics*, 15(10), 1671-1679.
- Hellin, J., Keleman, A. y Atlin, G. (2010). Smallholder farmers and maize in Mexico: a value-chain approach to improved targeting of crop-breeding programs. *Journal of New Seeds*, 11, 262-280.
- Hernández, G. J. A., Carballo, C. A., Hernández, L. A. y González, C. F. V. (2000). Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semilla de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23, 239-250.
- Hochholdinger, F., Yu, P. y Marcon, C. (2018). Genetic control of root system development in maize. *Trends in Plant Science*, 23(1), 79-88.
- Hou, H., Wang, P., Zhang, H., Wen, H., Gao, F., Ma, N., Wang, Q. y Li, L. (2015). Histone acetylation is involved in gibberellin-regulated sodCp gene expression in maize aleurone layers. *Plant and Cell Physiology*, 56(11), 2139-2149.
- Hui-Ying, C., Ding-Bo, W., Jian-Guo, S., Kun-Lun, Z., Shu-Ting, D., Peng, L. y Ji-Wang, Z. (2015). Effects of sowing depth on seedling traits and root characteristics of summer maize. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 26(8), 2397-2404.
- Hussen, S., Alemu, B. y Ahmed, F. (2013). Effects of planting depth on growth performance of maize (*Zea-Mays*) at the experimental site of Wollo University, Dessie, Ethiopia. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 8(1), 10-15.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2020). International Rules for Seed Testing 2020. *Chapter 3: The purity analysis – Chapter 4: Other seeds by number*, i-4-6 (40). Zürichstr. 50, CH-8303 Bassersdorf, Switzerland.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2021). International Rules for Seed Testing 2021. *Chapter 9: Determination of moisture content*, i-9-12 (20). Zürichstr. 50, CH-8303 Bassersdorf, Switzerland.

- International Seed Testing Association (ISTA). (2021). International Rules for Seed Testing 2021. Chapter 5: The germination test, i-5-56 (64). Zürichstr. 50, CH-8303 Bassersdorf, Switzerland.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2022). International Rules for Seed Testing 2022. *Chapter 15: Seed vigour-testing*, i-15-20 (28). Zürichstr. 50, CH-8303 Bassersdorf, Switzerland.
- Jin, X., Fu, Z., Ding, D., Li, W., Liu, Z., Hu, Y. y Tang, J. (2014). Proteomic analysis of plumules and coleoptiles in maize between hybrids and their corresponding inbred lines. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(2), 355-370.
- Johnson, R. R. y Wax L. M. (1981). Stand establishment and yield of corn as affected by herbicides and seed vigor. *Agronomy Journal*, 73, 859-863.
- Joya-Dávila, J. G., Ramírez, G. S. I., López, B. O., Jiménez, N. S. A. Del R., Gaona, A. A. y Espinosa-Zaragoza, S. (2021). Osmocondicionamiento de semillas de *Zea mays* con extractos vegetales para aumentar el vigor de establecimiento. *Ciencia y Agricultura*, 18(1), 21-35.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. 116 p.
- Khajeh-Hosseini, M., Lomholt, A. y Matthews, S. (2009). Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots of maize (*Zea mays* L.). *Seed Science and Technology*, 37(2), 446–456.
- Lazos, E. y Chauvet M. (2012). Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México. Proyecto Global de Maíces, Informe de Gestión. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 534 p.
- Lima, L. S., De C. F., Fachini, C., Da Silva, V. R., Borges, J. R. P. y Forti, V. A. (2022). Maíz criollo del sureste de San Paulo, Brasil: diversidad y calidad de semillas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 15-28.
- Luo, Y., Guan, Y. J., Huang, Y. T., Li, J., Li, Z. y Hu, J. (2015). Single counts of radicle emergence provides an alternative method to test seed vigour in sweet corn. *Seed Science and Technology*, 43, 519-525.
- Magdaleno-Hernández, E., Magdaleno-Hernández, A., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velázquez, M. A., Sánchez-Escudero, J. y García-Cué, J. L. (2020). Evaluación de la calidad física y fisiológica de semilla de maíz nativo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17, 569-581.

- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Manuel, R. I., Gil, M. A., Ramírez, V. B., Hernández, S. J. H. y Bellon, M. (2007). Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 69-78.
- Mápula-Larreta, M., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J. y Hernández-Livera, A. (2008). Germinación y vigor de semillas en *Pseudotsuga menziesii* de México. *Ra Ximhai*, 4(1), 119-134.
- Martínez, S. J., Virgen, V. J., Peña, O. M. G. y Santiago, R. A. (2010). Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3), 289-304.
- Martínez-Lázaro, C., Mendoza-Onofre, L. E., García-De los Santos, G., Mendoza-Castillo, M. C. y Martínez-Garza, A. (2005). Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(2), 127-133.
- Massieu, T. y Lechuga, M. J. (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis Económico*, 17(36), 281-303.
- Matthews, S. y Khajeh-Hosseini, M. (2007). Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Science and Technology*, 35, 200-212.
- Matthews, S. y Powell, A. (2011). Toward automated single counts of radicle emergence to predict seed and seedling vigour. *Seed Testing International*, 142, 44-48.
- Matthews, S., Beltrami, E., El-Khadem, R., Khajeh-Hosseini, M., Nasehzade, M. y Urso, G. (2011a). Evidence that time for repairing during early germination leads to vigour differences in maize. *Seed Science and Technology*, 39, 501-509.
- Matthews, S., Wagner, M. H., Ratzenboeck, A., Khajeh-Hosseini, M., Casarin, E., El-Khadem, R., El-Yakhlifi, M. y Powell, A. A. (2011b). Early counts of radicle emergence during germination as a repeatable and reproducible vigour test for maize. *Seed Testing International*, 141, 39-45.
- Mavi, K., Powell, A. A. y Mathews, S. (2016). Rate of radicle emergence and leakage of electrolytes provide quick predictions of percentage normal seedling in standard germination tests of radish (*Raphanus sativus*). *Seed Science and Technology*, 44(2), 393-409.
- Méndez, N. N., Ysavit, M. L. y Merazo, P. J. 2007. Uso del agua caliente para evaluar la calidad de semillas de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Tecnológica ESPOL*, 1(20), 229-236.

- Méndez-Natera, J. R., Merazo-Pinto, J. F. y Montaña-Mata, N. J. (2008). Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). *UDO Agrícola*, 8, 61-66.
- Mera-Ovando, L. M. y Mapes-Sánchez C. (2009). El maíz. Aspectos biológicos. *In: Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica*. Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., Bye, R. A. (eds). Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. pp: 19-32.
- Milosevic, M., Vujakovic, M. y Karagic, D. (2010). Vigour tests as indicator of seed viability. *Genetika*, 42(1), 1-16.
- Miya, S. P., Modi, A. T. y Mabhaudhi, T. (2017). Interactive effects of simulated hail damage and plant density on maize seed quality. *Seed Science and Technology*, 45(1), 100-111.
- Mohan, A., Schillinger, W. F. y Gill, K. S. (2013). Wheat seedling emergence from deep planting depths and its relationship with coleoptile length. *Plos One*, 8(9), 1-9.
- Molatudi, R. L. y Mariga, I. K. (2009). The effect of maize seed and depth of planting on seedling emergence and seedling vigour. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(12), 2234-2237.
- Montes, H. L. A. (2014). Aspectos tradicionales y genéticos asociados al maíz raza Jala. Tesis de Doctorado en Ciencias, Colegio de postgraduados, Campus Puebla, Postgrado en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. 107 p.
- Moreno, M. E. (1996). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Tercera edición. Programa Universitario de Alimentos. FAO, UNAM, México. 113 p.
- Musito, R. N., Espinoza, V. J., González, V. V. M., Gallegos, S. J. E. y León, C. H. (2008). Características de plántulas en familias derivadas de una población de maíz poliembriónico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 399-402.
- Newton, K. J., Knudsen, C., Gabay-Laughnan, S. y Laughnan, J. R. (1990). An abnormal growth mutant in maize has a defective mitochondrial cytochrome oxidase gene. *The Plant Cell*, 2(2), 107-113.
- Niu, L., Hao, R., Wu, X. y Wang, W. (2020). Maize mesocotyl: Role in response to stress and deep-sowing tolerance. *Plant Breeding*, 139(3), 466-473.
- Ohno, H., Banayo, N. P. M. C., Bueno, C. S., Kashwagi, J. I., Nakashima, T., Corales, A. M., García, R., Sandhu, N., Kumar, A. y Kato, Y. (2018). Longer mesocotyl contributes to quick seedling establishment, improved root anchorage, and early vigor of deep-sown rice. *Field Crops Research*, 228, 84-92.

- Onwimol, D., Chanmprasert, W., Changsee, P. y Rongsangchaicheron, T. (2016). Seed vigour classification using analysis of mean radicle emergence time and single counts of radicle emergence in rice (*Oryza sativa* L.) and mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Agriculture and Natural Resources*, 50(5), 345-350.
- Ordóñez, M. R., Gely, M. C. y Pagano, A. M. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-171.
- Ozden, E., Mavi, K., Sari, E. y Samir, I. (2017). Radicle emergence test predicts longevity (half viability period p_{50}) of leek seed lots. *Seed Science and Technology*, 45, 243-247.
- Ozden, E., Ozdamar, C. y Demir, I. (2018). Radicle emergence test estimated predictions of percentage normal seedlings in standard germination tests of aubergine (*Solanum melongena* L.) seed lots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(1), 177-182.
- Palamarchuk, V. y Telekalo, N. (2018). The effect of seed size and seedling depth on the components of maize yield structure. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*, 24(5), 785-792.
- Palemón-Alberto, A. (2018). Rendimiento de grano de maíces (*Zea mays* L.) sembrados en la Costa Chica de Guerrero, México. *Agro Productividad*, 9(10), 3-7.
- Palemón-Alberto, F., Gómez-Montiel, N. O., Reyes-García, G., Vargas-Álvarez, D., Damián-Nava, A., Hernández-Castro, E., Juárez-López, P. y Cruz-Lagunas, B. (2017). Rendimiento de maíces cultivados en la región Tierra Caliente, Guerrero, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 3(1), 1-7.
- Pan, B., Zhong, T. y Zhao, G. (2016). Promoting deep-sowing germinability of corn (*Zea mays*) by seed soaking with gibberellic acid. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-10.
- Pérez, A. B. C., Hernández, V. A. G., Castillo, M. C. M. y Delgado, M. L. O. (2003). Marcadores fisiológicos de la tolerancia al envejecimiento de semilla en maíz. *Agrociencia*, 37(4), 371-381.
- Pérez, de la C. F. J., Carballo, C. A., Santacruz, V. A., Hernández, L. A. y Molina, M. J. C. (2007). Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México*, 33(1), 53-61.
- Pérez, M. C., Hernández-Livera, A., González, C. F. V., García, De los S. G., Vásquez, R. T. R. y Tovar, G. M. del R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México*, 32(3), 341-352.

- Pinto, A. Da S. R., De Freitas, G. A., Goncalves, N. J. M., Ramos, H. F. De F. y Da Silva, I. T. (2012). Test germination of corn seeds in different environments. *Pesquisa Aplicada y Agrotecnología*, 5(3), 17-26.
- Rahmawati. y Muhammad, A. (2020). The effect of temperature and humidity of storage on maize seed quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 484.
- Ramírez, R. O., Escobar, A. J. L., Maldonado, P. M. De los A., Rojas, G. A. R., Hernández, C. E. y Valenzuela-Lagarda, J. L. (2020). Calidad de mazorca y grano en maíces criollos de la Costa Chica, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 24, 239-246.
- Ramírez, V. M. L., Espitia, R. E., Carballo, C. A., Zepeda, B. R., Vaquera, H. H. y Córdova, T. L. (2013). Fertilización y densidad de población I. Calidad física y fisiológica en la semilla de amaranto (*A. hypochondriacus*). In: Rangel L. J. A., Raya, P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre, M. C. L., Ramírez P. J. G., y Mendoza E. M. (Editores). *1er. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3. Pp. 82-92.
- Rangel-Fajardo, M. A., Córdova-Téllez, L. y Cárdenas-Soriano, E. (2014). Pérdida de tolerancia a la desecación durante la imbibición-germinación en semillas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 833-845.
- Raya, P. J. C., Aguirre, M. C. L., Medina, O. J. G., Ramírez, P. J. G., Andrio, E. E., Castellanos, S. A. y Covarrubias, P. J. (2012). Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 633-641.
- Rincón, F. y Molina. J. (1990). Efecto del método de envejecimiento artificial sobre la germinación de semillas de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 1, 51-53.
- Rios-Gonzalez, K., Erdei, L., y Lips, S. H. (2002). The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. *Plant Science*, 162(6), 923-930.
- Rodríguez-Guzmán, E., Carballo-Carballo, A., Baca-Castillo, G. A., Martínez-Garza, A. y Rosas-Romero, M. (2000). Parámetros genéticos y heredabilidad en calidad fisiológica de semillas de jitomate (*Lysopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(2), 165-171.
- Ruiz, T. N. A., Rincón, S. F., Morales, A. M. F., López, G. J. J. y Olvera, E. M. (2012). Efecto del ambiente en atributos fisiológicos en poblaciones de maíz criollo. XXIV Congreso Nacional y IV Internacional de Fitogenética, Memoria de Resúmenes, Pp. 514.
- Sadat-Noori, S. A., Mottaghi, S. y Lotfifar, O. (2008). Salinity tolerance of maize in embryo and adult stage. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3(5), 717-725.

- Sáenz, R. M.N. y Cassab, G.I. (2021). Primary Root and Mesocotyl Elongation in Maize Seedlings: Two Organs with Antagonistic Growth below the Soil Surface. *Plants*, 10, 1274.
- Salinas, A. R., Yoldjian, A. M., Craviotto, R. M. y Bisaro, V. (2001). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soya. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira Brasilia*, 36(2), 371-379.
- Salinas, M. Y., Aragón, C. F., Ybarra, M. C., Aguilar, V. J., Altunar, L. B. y Sosa, M. E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23-31.
- Sánchez-Hernández, E., De la Cruz-Lázaro, E. y Sánchez-Hernández, R. (2015). Productividad y caracterización varietal de maíces nativos (*Zea mays* L.) colectados en Tabasco, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1(1), 7-15.
- Sapkota, M. y Prakash, J. N. (2021). Factors associated with the technical efficiency of maize seed production in the Mid-Hills of Nepal: empirical analysis. *International Journal of Agronomy*, 1-8.
- Schneider, C.A., Rasband, W.S. y Eliceiri, K.W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9, 671-675.
- Sebetha, E. T., Modi, A. T. y Owoeye, L. G. (2015). Maize seed quality in response to different management practices and sites. *Journal of Agricultural Science*, 7(1), 215-223.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en línea: <https://www.gob.mx/siap> (acceso el 10 de julio 2022).
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2020). Regla para la calificación de semillas de maíz (*Zea mays* L.). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 34 p.
- Silva, R. N., Lopes, N. F., Moraes, D. M., Pereira, A. L. A. y Duarte, G. L. (2007). Physiological quality of barley seeds submitted to saline stress. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(1), 40-44.
- Sinha, A. K. y Ghildyal, B. P. (1979). Emergence force of crop seedlings. *Plant and Soil*, 51, 153-156.
- Sivritepe, H. O., Sivritepe, N. y Senturk, B. (2016). Correlations between viability and different vigour tests in maize seeds. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 2(6), 1891-1898.
- Sobukola, O. P., Kajihusa, O. E., Onwuk, V. I. y Esan, T. A. (2013). Physical properties of high quality maize (Swam 1 variety) seeds (*Zea mays*) as affected by moisture levels. *African Journal of Food Science*, 7(1), 1-8.

- Souza, F. F. De J., Devilla, I. A., De Souza, R. T. G., Teixeira, I. R. y Spehar, C. R. (2016). Physiological quality of quinoa seeds submitted to different storage conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 11(15), 1299-1308.
- Subbarao, K. V., Datta, R. & Sharma, R. (1998). Amylases synthesis in scutellum and aleurone layer of maize seeds. *Phytochemistry*, 49(3), 657-666.
- Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Rajendran, V. y Kannan, N. (2012). Silica nanoparticles for increased silica availability in maize (*Zea mays* L.) seeds under hydroponic conditions. *Current Nanoscience*, 8, 902-908.
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Valdivia-Bernal, R., Gómez-Montiel, N., Sierra-Macias, M. y Zamudio-González, B. (2010). Vigor de las semillas y productividad de variedades de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 21(1), 31-38.
- Tamborelli, M. R. (2021). Importancia del control de calidad de semillas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina. Hoja informativa No. 123.
- Teruel, M. E., Biasutti, C. A., Nazar, M. C. y Peiretti, D. A. (2008). Efectos de aptitud combinatoria para vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz. *Agriscientia*, 25(1), 27-34.
- Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G., Volke-Haller, V. H., Salinas-Moreno, Y., Trejo-Tellez, L. I. y Larqué-Saavedra, A. (2016). Efecto del ácido salicílico sobre el crecimiento de raíz de plántulas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 709-716.
- Turrent-Fernández, A., Wise, T. A. y Garvey, E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mexican Rural Development Research Reports*, 24, 1-36.
- Utsunomiya, K. S., Bione, N. C. P. y Pagliarini, M. S. (2002). How many different kinds of meiotic abnormalities could be found in a unique endogamous maize plant? *Cytologia*, 67(2), 169-176.
- Valdéz-Eleuterio, G., Uscanga-Mortera, E., Kohashi-Shibata, J., García-Nava, R., Martínez-Moreno, D., Torres-García, J. y García-Esteva, A. (2015). Tamaño de semilla, granulometría del sustrato y profundidad de siembra en el vigor de semilla y plántula de dos malezas. *Agrociencia*, 49, 899-915.
- Valle-Moysén, R., Covarrubias-Prieto, J., Ramírez-Pimentel, J. G., Aguirre-Mancilla, C. L., De la Fuente, G. I. y Raya-Pérez, J. C. (2017). Osmocondicionamiento de semilla de maíz pigmentado (*Zea mays* L.) Bofo y Celaya. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1073-1086.
- Varga, P., Berzy, T., Anda, A. y Ertsey, K. (2012). Relationship between seed harvesting method and seed physiological quality for a number of Pioneer maize hybrids. *Maydica*, 57(3), 220-225.

- Vázquez, C. M. G., Guzmán, B. L., Andrés, G. J. L., Márquez, S. F. y Castillo, M. J. (2003). Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26, 231-238.
- Vázquez-Carrillo, M. G., Ortega-Corona, A., Guerrero-Herrera, M. J. y Coutiño-Estrada, B. (2011). Evaluación bioquímica e industrial de razas nativas de maíz de la región serrana de Sonora. In: Preciado-Ortíz, R. E. y Montes-Hernández, S. (Eds). Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México. *Sociedad Mexicana de Fitogenética*, A. C. Chapingo, estado de México, México. Pp. 97-142.
- Velázquez, H. (2014). Estudio fisiológico en familias prolíficas de un lote de producción de semilla de la variedad de maíz JAGUAN. Doctoral dissertation, Tesis de Maestría Profesional, Especialidad en Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Vertucci, C. W. (1989). The kinetics of seed imbibition: controlling factors and relevance to seedling vigor. *Seed Moisture*, 14, 93-115.
- Viccini, L. F. y De Carvalho, C. R. (2002). Meiotic chromosomal variation resulting from irradiation of pollen in maize. *Journal of Applied Genetics*, 43(2), 463-469.
- Vielle-Calzada, J. P. y Padilla, J. (2009). The Mexican Landraces: Description, Classification and Diversity. In: Bennetzen J, L., Hake S, C., Editors. *Handbook of Maize: Its Biology*. New York: Springer. Pp. 543–561.
- Vilora, H. y Méndez, N. J. R. (2007). Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 34(2): 91-100.
- Virgen-Vargas, J., Zepeda-Bautista, R., Avila-Perches, M. A., Espinosa-Calderón. A., Arellano-Vázquez, J. L. y Gámez-Vázquez, A. J. (2016). Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 191-206.
- Virginia, D. T. M. (2012). Vigor temprano y su incidencia sobre el rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Magister en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 117 p.
- Wato, T. (2019). The effect of planting depth on germination and seedling vigourosity of maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(2), 840-845.
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M. y Hernández, X. E. (1952). Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D F. Folleto técnico núm. 5. 237 p.

- Zepeda, B. R., Carballo, C. A., Alcántar, G. G., Hernández, L. A. y Hernández, G. J. A. (2002). Efecto de la fertilización foliar en el rendimiento y calidad de semilla de cruzas simples en maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(4), 419-426.
- Zhao, X. Q. y Zhong, Y. (2021). 24-Epibrassinolide mediated interaction among antioxidant defense, lignin metabolism, and phytohormones signaling promoted better cooperative elongation of maize mesocotyl and coleoptile under deep-seeding stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 68(6), 1194-1207.
- Zhao, X., Zhong, Y. y Zhou, W. (2021). Molecular mechanisms of mesocotyl elongation induced by brassinosteroid in maize under deep-seeding stress by RNA-sequencing, microstructure observation, and physiological metabolism. *Genomics*, 113, 3565-3581.
- Zuniga, B. E. M. (1991). Comparación de la calidad física y fisiológica de la semilla de maíz obtenida bajo tres sistemas de producción. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. 67 p.