



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

**CALIDAD DE SEMILLA DE
VARIETADES MEJORADAS DE
TRIGO LIBERADAS EN MÉXICO**

SALVADOR CARRANZA GONZÁLEZ

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: **Calidad de semilla de variedades mejoradas de trigo liberadas en México** realizada por el alumno: **Salvador Carranza González** 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

CODIRECTOR DE TESIS:


DR. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR

ASESOR:


M. C. ADRIÁN HERNÁNDEZ LIVERA

ASESORA:


DRA. MA. ELENA RAMÍREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, octubre de 2021

CALIDAD DE SEMILLA DE VARIEDADES MEJORADAS DE TRIGO LIBERADAS EN MÉXICO

Salvador Carranza González, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

La calidad de la semilla es un concepto agronómico que considera atributos físicos, fisiológicos, genéticos y sanitarios; los cuales permiten un buen establecimiento del cultivo y con ello lograr buena productividad en campo. Alrededor del 97% del trigo producido en México se obtiene con variedades generadas por los programas de mejoramiento genético alrededor del mundo. El objetivo de este estudio fue evaluar las características de calidad física y fisiológica de 24 variedades de trigo provenientes de la Colección del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Se incrementaron en condiciones de campo durante dos ciclos de producción y la semilla cosechada se utilizó para el análisis de calidad. El diseño experimental empleado fue en bloques al azar en un arreglo de tratamientos de parcelas divididas con 4 repeticiones, donde la parcela grande fueron los ciclos de producción y la parcela chica las variedades. Para las tres evaluaciones de calidad física que se realizaron, se agruparon las variedades en ocho décadas de acuerdo al año de liberación de cada una. Para la variable Peso de Mil Semillas los resultados muestran que se aumentó hasta en un 30% su valor en variedades modernas y producidas en condiciones favorables; mientras que para Peso Volumétrico fue del 7%; para Porcentaje de Humedad no se detectó diferencia entre las variedades generadas en las diferentes décadas. Las 24 variedades evaluadas tuvieron un comportamiento aceptable bajo los estándares que la industria semillera demanda. Se concluye que el mejoramiento genético de trigo en México ha influenciado de manera positiva y de forma significativa el Peso de Mil Semillas. La prueba estándar de germinación permitió discriminar a las variedades y estimar el potencial que algunas continúan teniendo para su uso en condiciones de campo; sin embargo, se puede complementar con otras pruebas de vigor. Se sugiere el uso y evaluación de variedades modernas respecto al parámetro germinación, ya que es un factor importante y determinante de la rentabilidad del cultivo y de la calidad de la semilla. Las variedades pertenecientes a la última década tuvieron buen comportamiento a la prueba de vigor con profundidad de siembra ya que arrojaron datos favorables para la mayoría de las variables respuesta, este indicativo sugiere que el mejoramiento genético de trigo en México ha generado variedades con alto vigor que puedan lograr un desarrollo rentable. Todas las variedades presentaron cierto grado de resistencia al medio salino, ya que hubo buen desarrollo. El medio salino no afectó la viabilidad de la semilla, aunque, la cantidad de solución salina pudo ser más alta para observar diferencias. Se concluye que el mejoramiento genético de trigo en México ha permitido generar y liberar variedades con mayor calidad física y fisiológica de semilla.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., mejoramiento genético, peso volumétrico, peso de mil semillas, germinación, profundidad de siembra, salinidad.

SEED QUALITY OF IMPROVED WHEAT VARIETIES RELEASED IN MEXICO

Salvador Carranza González, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

The quality of the seed is an agronomic concept that considers physical, physiological, genetic and health attributes; which allow a good establishment of the crop and thus achieve good productivity in the field. About 97% of the cultivated wheat consumed by humanity is bread wheat, a product obtained by genetic improvement programs around the world. The objective of this study was to evaluate the physical and physiological quality characteristics of 24 wheat varieties from the Collection of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP). They were increased under field conditions during two production cycles and the harvested seed was used for quality analysis. The experimental design used was in random blocks in a treatment arrangement of divided plots with 4 repetitions, where the large plot the production cycles and the small plot the varieties. For the three physical quality evaluations that were carried out, the varieties were grouped in eight decades according to the year of release of each one. For the variable Weight of Thousand Seeds, the results showed that its value increased by up to 30% in modern varieties produced under favorable conditions; while for Volumetric Weight it was 7%; for Percentage of Moisture, no difference was detected between the varieties generated in the different decades. The 24 varieties evaluated had an acceptable behavior under the standards that the seed industry demands. It is concluded that the genetic improvement of wheat in Mexico has positively and significantly influenced the Weight of a Thousand Seeds. The standard germination test will include discriminating the varieties and estimating the potential that some continue to have for use in field conditions, however, it can be complemented with other vigor tests. The use and evaluation of modern varieties with respect to the germination parameter is suggested, since it is an important factor determining the profitability of the crop and the quality of the seed. The varieties belonging to the last decade had good performance in the vigor test with planting depth since they yielded favorable data for most of the response variables, this indicative suggests that the genetic improvement of wheat in Mexico has generated varieties with high vigor that perform have a profitable development. All the varieties showed a certain degree of resistance to the saline environment, since there was development. The saline medium did not affect the viability of the seed, although the amount of saline solution could be higher to observe differences. It is concluded that the genetic improvement of wheat in Mexico has allowed the generation and release of varieties with high seed vigor.

Key words: *Triticum aestivum* L., plant breeding, volumetric weight, thousand-kernel weight, germination, sowing depth, salinity.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría.

Al **Colegio de Postgraduados *Campus Montecillo*** por permitirme realizar mis estudios de maestría y especialmente al Posgrado de Producción de Semillas por las enseñanzas y el conocimiento adquirido a lo largo de mi estancia en esta institución.

Al **Programa de Mejoramiento de Trigo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)** por permitirme realizar mis actividades de campo en sus instalaciones y por la oportunidad de proporcionarme el material genético utilizado en la realización de este trabajo.

Al **Dr. Aquiles Carballo Carballo** por aceptar la conducción de esta investigación, por sus sabios consejos y sus oportunas sugerencias; por ofrecerme una amistad noble y transmitirme sus valiosos conocimientos a lo largo de estos dos años.

Al **Dr. Héctor Eduardo Villaseñor Mir** por proporcionarme el germoplasma utilizado, por su sincera amistad, su confianza y sus consejos, así como su inspiración y motivación para continuar con mi formación como profesionista.

Al **M. C. Adrián Hernández Livera** por su constante atención en mi investigación, por sus acertadas sugerencias, por ofrecerme su amistad y por brindarme las facilidades para la realización de la investigación.

A la **Dra. Ma. Elena Ramírez** por sus oportunas sugerencias, por su atención, su apoyo brindado durante la investigación y su amistad durante mi estancia en el Colegio.

Al **personal del INIFAP Campo Experimental Valle de México: José Arteaga y Héctor Rodríguez**, por su amistad, sus consejos y su apoyo en la conducción y manejo del material en la fase de campo.

Al **personal del COLPOS: Rodolfo Nabor de la Cruz Espinosa y Gerardo Zamora Elizalde** por su amistad, sus recomendaciones y su apreciable ayuda en la conducción de las pruebas en el laboratorio y en campo. De igual forma a la **Sra. María Alicia Martínez Reyes** por su oportuna asistencia en mis trámites y ofrecerme su amistad durante mi estancia en el Colegio.

DEDICATORIA

A mis papás: **Salvador Carranza** y **Beatriz González**, por siempre estar conmigo, por apoyar mis decisiones y enseñarme los valores para seguir creciendo y formándome como humano y profesionalista.

A mis abuelos: **Jesús Carranza** y **Adelina López†**, a **Martín González†** y **Mercedes Guerrero**, por siempre tener fe en mí, por impulsar mis sueños, por los sabios consejos y colmarme de amor.

A mis hermanos: **Cinthya** y **Alejandro**, por mostrarme su apoyo y su cariño incondicional en cada momento.

A mis amigos y compañeros de Maestría: **Karla, Mary, Iliana, Ivonne, Vidal, Tania, Kenia, Poncho, Esli, Deysi, Luis, Christian, Norma, Óscar, Elizabeth, Renata** y **Leo** por apoyarme y aconsejarme en cada oportunidad para poder culminar mis estudios, y por compartir conmigo grandes momentos de amistad.

Con cariño,
Salvador Carranza González

Esta tesis está dedicada especialmente a:
Adelina López Jacuinde[†]

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	4
1.1.1. Objetivo General	4
1.1.2. Objetivos específicos	4
1.2. Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Generalidades del cultivo de trigo	5
2.1.1. Origen	5
2.1.2. Clasificación Taxonómica	5
2.1.3. Características de la planta	6
2.1.4. Requerimientos Edafo-climáticos	7
2.1.5. Etapas Fenológicas	8
2.1.6. Factores que afectan la Producción	10
2.1.7. Producción Mundial	11
2.1.8. Producción Nacional	12
2.2. Calidad de Semillas	12
2.2.1. Calidad Genética	13
2.2.2. Calidad Física	14
2.2.3. Calidad Fitosanitaria	14
2.2.4. Calidad Fisiológica	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Ubicación del sitio experimental	17
3.2. Material Genético	17
3.3. Evaluación de la calidad física de la semilla	18
3.3.1. Porcentaje de humedad (PH)	18
3.3.2. Peso Volumétrico (PVOL)	19

3.3.3. Peso de Mil Semillas (PMS)	20
3.4. Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla	21
3.4.1. Prueba Estándar de Germinación (PEG).....	21
3.4.2. Prueba de vigor con profundidad de siembra (PPS).....	23
3.4.3. Prueba de Salinidad (PS)	26
3.5. Análisis Estadístico.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Evaluación de la calidad física de la semilla	30
4.1.1. Porcentaje de Humedad	30
4.1.2. Peso Volumétrico	34
4.1.3. Peso de Mil Semillas	39
4.2. Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla.....	44
4.2.1. Prueba Estándar de Germinación.....	44
4.2.2. Prueba de vigor con Profundidad de siembra	49
4.2.3. Prueba de Salinidad.....	57
V. DISCUSIÓN GENERAL	68
VI. CONCLUSIONES	69
VII. LITERATURA CITADA.....	70

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Variedades de trigo y año de liberación.....	18
Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de la variable Porcentaje de Humedad en 24 variedades de trigo.....	30
Cuadro 3. Comparación de medias de la variable Porcentaje de Humedad en 24 variedades de trigo.	31
Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística de la variable Porcentaje de Humedad considerando décadas en 24 variedades de trigo.	33
Cuadro 5. Comparación de medias de la variable Porcentaje de Humedad por década.	33
Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística para la variable Peso Volumétrico (PVOL) de 24 variedades de trigo.	34
Cuadro 7. Comparación de medias de los valores de Peso Volumétrico en 24 variedades de trigo.....	35
Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística del factor Décadas para la variable Peso Volumétrico en 24 variedades de trigo.....	36
Cuadro 9. Comparación de medias por década del Peso Volumétrico en 24 variedades de trigo.....	38
Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística para la variable Peso de Mil Semillas en 24 variedades de trigo.....	39
Cuadro 11. Comparación de medias de los valores de Peso de Mil Semillas en 24 variedades de trigo.	41
Cuadro 12. Cuadrados medios y significancia estadística del factor Décadas para la variable Peso de Mil Semillas en 24 variedades de trigo.....	42
Cuadro 13. Comparación de medias de la variable Peso de Mil Semillas por Década.	43
Cuadro 14. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en la Prueba Estándar de Germinación de 24 variedades de trigo.....	45

Cuadro 15. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de Germinación de 24 variedades de trigo.	46
Cuadro 16. Matriz de correlaciones de las variables evaluadas en la prueba estándar de germinación.....	47
Cuadro 17. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba Estándar de Germinación de 24 variedades de trigo considerando Décadas.....	48
Cuadro 18. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba Estándar de Germinación considerando Décadas.....	49
Cuadro 19. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de vigor con Profundidad de Siembra en 24 variedades de trigo.	50
Cuadro 20. Comparación de medias de las variables evaluadas en 24 variedades de trigo en Prueba con Profundidad de Siembra.....	52
Cuadro 21. Matriz de correlaciones de variables evaluadas en la prueba de vigor con profundidad de siembra.....	54
Cuadro 22. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de vigor con Profundidad de Siembra de 24 variedades de trigo considerando Décadas.....	55
Cuadro 23. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de vigor con Profundidad de Siembra considerando Décadas.....	56
Cuadro 24. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de salinidad de 24 variedades de trigo.	59
Cuadro 25. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de Salinidad de 24 variedades de trigo.	60
Cuadro 26. Matriz de correlaciones de variables evaluadas en la Prueba de Salinidad.	62
Cuadro 27. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de Salinidad considerando Décadas.....	63

Cuadro 28. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de Salinidad considerando Décadas..... 64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del grano de trigo (NZFMA, 2017).....	7
Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo de trigo (Nordby, 2004).....	10
Figura 3. Producción mundial de trigo (FAO, 2020).....	11
Figura 4. Evaluación del porcentaje de humedad: a) peso inicial, b) semilla después del secado.....	19
Figura 5. Evaluación del peso volumétrico: a) preparación de la muestra, b) determinación del peso volumétrico.	20
Figura 6. Conteo de una repetición de cien semillas.	21
Figura 7. Distribución de las semillas durante la siembra en almácigo.....	23
Figura 8. Emergencia de plántulas en prueba de profundidad de siembra.	24
Figura 9. Establecimiento de prueba de salinidad: a) siembra en sustrato con solución salina, b) germinación a los cuatro días después de la siembra.	26
Figura 10. Separación del vástago y la raíz para obtener el dato de peso seco.	28
Figura 11. Comportamiento medio de la interacción Variedad x Ciclo para la variable Porcentaje de Humedad.	32
Figura 12. Comportamiento medio del Porcentaje de Humedad en cada una de las Décadas evaluadas.....	34
Figura 13. Comportamiento medio de la interacción Variedad x Año para la variable Peso Volumétrico.	37
Figura 14. Comportamiento medio del Peso Volumétrico de cada una de las Décadas evaluadas.....	39
Figura 15. Comportamiento medio de la interacción Variedad x Año para la variable Peso de Mil Semillas.	42
Figura 16. Comportamiento medio del Peso de Mil Semillas de cada una de las Décadas evaluadas.....	44

Figura 17. Porcentaje de germinación medio de cada una de las Décadas evaluadas en la PEG.	49
Figura 18. Comportamiento medio de la Velocidad de Emergencia de cada una de las Variedades evaluadas.	53
Figura 19. Comportamiento medio del Peso Seco del Vástago por Década en la Prueba de vigor con profundidad de siembra.	57
Figura 20. Comportamiento medio de la Velocidad de Emergencia por Década en la Prueba de vigor con profundidad de siembra.	57
Figura 21. Comportamiento medio del PG de las 24 variedades evaluadas con y sin tratamiento de salinidad.	61
Figura 22. Comportamiento medio de la variable Porcentaje de Germinación en la prueba de salinidad considerando Décadas.	65
Figura 23. Comportamiento medio de la variable Peso seco del Vástago en la prueba de salinidad considerando Décadas.	66
Figura 24. Comportamiento medio de la variable Longitud de raíz en la Prueba de salinidad considerando Décadas.	67

I. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal más utilizado en la alimentación humana debido a su alto valor energético y mayor contenido de proteínas en comparación con maíz (*Zea mays* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.). Este cereal se cosecha prácticamente en todo el mundo, aunque el hemisferio norte presenta condiciones más propicias para su cultivo. La superficie de trigo que se siembra a nivel mundial y su comercio es mayor que los demás cultivos agrícolas (FIRA, 2015). En México en 2019 se produjeron cerca de 3.3 millones de toneladas, concentradas en los estados de Sonora, Baja California y Guanajuato al aportar en conjunto 74.6% de la producción nacional (SIAP, 2020); el cultivo es considerado como el segundo cereal más importante en la dieta de los mexicanos, que consumen en promedio 57.4 kg per cápita al año. Durante 2019 se establecieron alrededor de 10 mil hectáreas para producción de semilla, de las cuales se obtuvieron alrededor de 66,800 toneladas de categoría certificada la cual cubre el 53% de la demanda nacional (Córdoba, 2019).

Los programas de Mejoramiento Genético de Trigo en México, desde sus inicios a mediados de los años 40 a la fecha han trabajado durante dos ciclos agrícolas al año en ambientes ampliamente contrastantes, lo que ha permitido generar en poco más de 70 años 260 variedades. Los enfoques del mejoramiento de dichos programas se han orientado a: 1) Control genético de la roya del tallo, 2) reducción del porte de planta, 3) incremento en el rendimiento, 4) control genético de las royas de la hoja y amarilla, 5) mejora de la calidad industrial, 6) tolerancia a enfermedades foliares, 7) tolerancia a la sequía y/o uso eficiente del agua, 8) tolerancia a fusariosis; principalmente (Villaseñor, 2015).

Durante los años setenta y ochenta, la introducción de germoplasma y la recombinación genética mediante retrocruzas entre trigos de hábito de primavera con los de hábito de invierno (I x P), así

como las recombinaciones entre trigo y centeno (*Secale cereale* L.), permitieron mejorar simultáneamente para adaptación, estabilidad, rendimiento y resistencia a enfermedades, gracias a la translocación del segmento cromosómico 1BL/1RS, que acarreó genes favorables como *Lr26*, *Sr31*, *Yr9* y *PM8* (Villareal, 1995). Asimismo, se dio más énfasis a la evaluación de segregantes en diferentes ambientes y se intensificó la recombinación del trigo con especies compatibles como *Triticum tauschii*, *Thinopyrum* spp. y *Triticum dicoccoides* (Villarreal, 1995), para obtener resistencia horizontal a la roya de la hoja.

En los últimos años se ha trabajado sobre el control genético de roya amarilla y el mejoramiento de la calidad. En roya amarilla se ha encontrado resistencia en planta adulta gracias a los genes *Yr18* (Singh y Rajaram, 1995), *Yr28* (Singh *et al.*, 2000) y *Yr29* (William *et al.*, 2003). En cuanto a calidad, se han estudiado los patrones que confieren mejoras en la calidad de esta característica en los trigos mexicanos, con especial énfasis en las proteínas de reserva (gluteninas y gliadinas) que confieren mejoras en la calidad (Wang *et al.*, 2010), lo que ha permitido mejorar la cantidad y la calidad de las proteínas de los trigos mexicanos (Peña *et al.*, 2004). Los resultados del mejoramiento genético de trigo en México se pueden sintetizar en la liberación de 234 variedades que han sido la plataforma de la producción nacional (Villaseñor *et al.*, 2015).

La semilla es una unidad reproductiva compleja que se forma a partir del óvulo vegetal, después de la fertilización (Doria, 2010). La propagación sexual de las plantas se da por medio de las semillas, las cuales tienen la función de multiplicar y perpetuar la especie (Suárez, 2010); se considera semilla de buena calidad cuando presenta pureza varietal y física, alto desempeño fisiológico y libre de patógenos, atributos que determinan la germinación, vigor y longevidad (Bishaw *et al.*, 2007; Goggi *et al.*, 2008; Courbineau, 2012; ISTA, 2015; García- Rodríguez *et al.*, 2018).

El estudio de la biología y fisiología de las semillas es de vital importancia para el hombre, ya que la mayoría de las especies cultivadas como los cereales son propagadas a partir de semillas sexuales (Russo *et al.*, 2010). La capacidad de las semillas para germinar y producir una planta normal, es el principal atributo a considerar para evaluar su calidad que comprende una serie de características que determinan su valor para la siembra; dentro de los más relevantes están pureza genética y calidad física, fisiológica y sanitaria (McDonald, 1985; Marcos-Filho, 1994; Bishaw *et al.*, 2007).

El desarrollo de la semilla de trigo se ha estudiado en el contexto de su morfología (Symons *et al.*, 1983), composición química (Schnyder, 1993), determinación del rendimiento (Sayed y Ghandorah, 1984) y capacidad de germinación (Mitchell *et al.*, 1980).

En México, con excepción de estudios como el de Valadez *et al.* (1992), Gutiérrez *et al.* (2006), Acuayte (2017) y Noriega *et al.* (2019), se ha realizado poca investigación sobre calidad de la semilla en trigo. Fernández *et al.* (2015) determinaron que el ambiente de producción influye de manera positiva en la calidad física y fisiológica de la semilla, incrementando el porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, longitud de la plúmula y otras variables. Para el caso de la calidad física y fisiológica de la semilla no se tienen reportes sobre su mejoramiento genético.

Por lo anterior, en la presente investigación se determinó evaluar el comportamiento de la calidad física y fisiológica de veinticuatro variedades de trigo liberadas en México a través del tiempo y en función de los resultados, analizar si el mejoramiento genético ha tenido impacto sobre esos atributos de la semilla.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Evaluar el comportamiento de la calidad física y fisiológica en semilla de 24 variedades mejoradas de trigo liberadas en México.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia del mejoramiento genético en la calidad física y fisiológica de la semilla de una muestra representativa de variedades de trigo liberadas en México entre los años 1948 y 2015.
- Analizar la importancia de la calidad de semillas en el comportamiento de las variedades mejoradas de trigo.

1.2. Hipótesis

- De manera indirecta, el mejoramiento genético de trigo en México ha logrado variedades con mejor calidad física y fisiológica de semilla.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo de trigo

2.1.1. Origen

El primer cultivo de trigo se produjo hace unos 10 000 años, como parte de la transición de la caza y la recolección de alimentos a la agricultura asentada. Las primeras formas cultivadas de trigo fueron esencialmente cultivares de poblaciones silvestres locales seleccionadas por agricultores, presumiblemente debido a su rendimiento superior y otras características. Estas formas cultivadas más tempranas fueron trigos diploides (genoma AA) y tetraploides (genoma AABB) y sus relaciones genéticas indican que se originaron en la parte sureste de Turquía (Heun *et al.*, 1997; Nesbitt, 1998; Dubcovsky y Dvorak, 2007).

La propagación del trigo desde su lugar de origen comenzó en Europa; de manera similar, el trigo se extendió a través de Irán y Asia central, llegando a China alrededor de 3000 AC y a África, inicialmente a través de Egipto. Fue introducido por los españoles en México en 1521 y en Australia en 1788 (Feldman, 2001).

Actualmente, alrededor del 95% del trigo cultivado en todo el mundo es trigo harinero hexaploide, y la mayor parte del 5% restante es trigo duro tetraploide (Shewry, 2009).

2.1.2. Clasificación Taxonómica

Reino: *Plantae*

División: *Tracheophyta*

Clase: *Equisetopsida*

Orden: *Poales*

Familia: *Poaceae*

Género: *Triticum*

Especie: *Triticum aestivum* L.

Fuente: CONABIO, 2016

2.1.3. Características de la planta

El trigo es un miembro de la familia de las gramíneas que produce una cariósida llamada grano. La semilla normalmente germina una semana después de la siembra y la primera hoja verdadera y el coleóptilo, emergen del suelo. Cada planta produce de cinco a siete hojas desde un punto de crecimiento, que luego se diferencia de una estructura vegetativa a una reproductiva para formar una espiga que lleva el grano (Paulsen, 2016).

Los macollos se desarrollan en las axilas de las hojas, dando a cada planta de tres a una docena o más espigas dependiendo de las condiciones, un rasgo que hace que el trigo sea altamente adaptable a diferentes ambientes.

El trigo se autopoliniza en un 95 a 98% y se produce poco intercambio de polen con otras plantas o cruzamiento externo; el grano madura a medida que el contenido de humedad disminuye del 35% al 40% hasta el 14%. La mayoría de las variedades también tienen un período de postmadurez de 1 a 4 semanas, durante el cual el grano pierde la latencia y se vuelve capaz de germinar (Shroyer, 2016).

Los granos de trigo generalmente tienen forma ovalada, aunque los diferentes trigos tienen granos que van desde formas casi esféricas hasta largas, estrechas y aplanadas. El grano suele tener entre 5 y 9 mm de longitud, y pesa entre 35 y 50 mg. Los granos son comúnmente de color rojo, aunque muchos trigos tienen granos blancos y existen variedades más inusualmente púrpura, negro, marrón o verde/gris (NZFMA, 2017). El grano de trigo se divide en varias partes, como se muestra en la Figura 1:

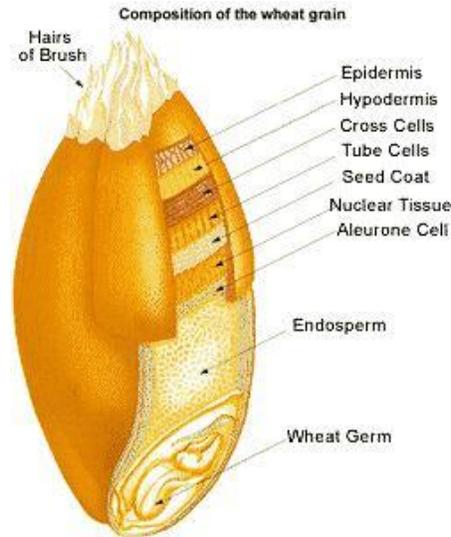


Figura 1. Estructura del grano de trigo (NZFMA, 2017).

Los componentes del rendimiento del trigo que determinan la cosecha, incluyen la densidad de la planta (número por área), macollos por planta, espigas por planta, espiguillas por espiga, granos por espiguilla y peso de grano. Las prácticas agronómicas se esfuerzan por optimizar, no maximizar, cada componente debido a la compensación entre ellos.

2.1.4. Requerimientos Edafo-climáticos

Los factores climáticos influyen en la producción de trigo, por lo cual es importante considerarlos para tener un manejo correcto del cultivo y asegurar su rentabilidad. La temperatura es uno de los factores más importantes que inducen el desarrollo de la planta de trigo a través de sus fases, desde la emergencia hasta la floración y la madurez; este desarrollo puede ocurrir dentro de un cierto rango que va desde los 0°C hasta los 35°C. Este factor puede tener repercusiones en la producción y en la calidad de la semilla; temperaturas mayores a 30°C favorecen la proliferación de hongos y bacterias en el suelo que por acción mecánica pueden descomponer el endospermo de la semilla, temperaturas menores a 5°C disminuyen el número de macollos en la planta, la longitud de las raíces y la coloración verde en las hojas; y, temperaturas menores a 12°C producen esterilidad en

el espigado, caso contrario con temperaturas mayores a los 30°C que produce durante la translocación y llenado de grano una baja calidad proteica en la semilla (Rawson, 2001).

Por otro lado, el trigo necesita de 12-13.5 horas-luz/día para completar su ciclo, cuando hay déficit de horas, aunque sea en cantidades pequeñas, la planta alarga su periodo vegetativo y si esta diferencia diaria es marcada, la planta permanece en estado herbáceo no llegando a alcanzar la floración.

El trigo necesita de un suelo franco, franco limoso, arcillo limoso y arcillo arenoso, moderadamente profundo a profundo, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica (>4%), se adapta a suelos neutros, aunque se suele cultivar en suelos moderadamente ácidos (pH 6.1-6.5). El requerimiento hídrico del cultivo se encuentra alrededor de los 350 a 600 mm de precipitación pluvial óptima, no obstante, puede desarrollarse cuando los umbrales de humedad oscilan entre los 200 mm a 1200 mm (FAO, 1984; Rawson, 2001).

2.1.5. Etapas Fenológicas

Se han desarrollado muchas escalas para describir las etapas de crecimiento de los cereales, como las de Feekes (1941) y Zadoks *et al.* (1974); estas dos escalas (decimales) son las más utilizadas en todo el mundo (Figura 2).

La etapa de germinación (Zadoks, 1974 “00 a 09”) comienza desde la siembra de la semilla en el suelo hasta la aparición de la primera hoja verde del coleóptilo, según el autor, los granos sembrados permanecen en forma de semilla seca en el suelo, se comienza el proceso de imbibición y el grano se hincha, permitiendo que la radícula aparezca. El coleóptilo emerge de la semilla y aparece la primera hoja verde justo en la punta del coleóptilo. Las temperaturas entre 20.4°C y 23.6°C son adecuadas para la germinación de las semillas (Nyachiro *et al.*, 2002).

Después de la germinación y aparición de la primera hoja, las plántulas continúan creciendo y esta etapa dura desde la aparición de la primera hoja hasta inicios del amacollamiento (Zadoks, 10 a 19), etapa que da comienzo con la aparición de un macollo del tallo principal y finaliza cuando la planta alcanza nueve o más macollos (Zadoks, 20 a 29); esta etapa se asocia con el desarrollo masivo de hojas desde el tallo principal, y esto es clave para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Simmons *et al.*, 1995). Hacia el final de la etapa de amacollamiento se unen los macollos y es cuando la hoja bandera está completamente visible (Zadoks, 30 a 39), al mismo tiempo se comienzan a formar las espigas junto con las demás estructuras reproductivas.; los entrenudos continúan alargándose en la parte superior de la planta.

Durante el crecimiento de la espiga, comienza a desarrollarse ésta hasta que se ven las primeras aristas (Zadoks, 40 a 49), la hoja bandera encierra la espiga en desarrollo justo antes de que emerja y a esto se le llama embuche. El alargamiento del tallo y el rápido crecimiento de la cabeza ocurren simultáneamente, y durante este período las flores individuales se preparan para la polinización y fertilización (Simmons *et al.*, 1985). La etapa del desarrollo de la espiga termina cuando es completamente visible (Zadoks, 50 a 59), la espiga se forma por dos espiguillas colocadas una frente a la otra y están sujetadas al pedúnculo por el raquis.

Enseguida inicia la etapa de la floración, que es cuando se ven algunas anteras alrededor de la mitad de la espiga y termina cuando está completamente rodeada por las anteras (Zadoks, 60 a 69). La temperatura requerida para la floración suele ser de 11 a 13°C de acuerdo a Simmons *et al.* (1995). El trigo se autopoliniza, por lo que las anteras arrojan los granos de polen y permanecen adheridos a los estigmas; la polinización suele tardar unos cuatro días ya que los estigmas se vuelven receptivos durante 6 a 13 días. Luego de lo anterior comienza la etapa del desarrollo del

grano cuando pasa de estado lechoso a masoso (Zadoks, 70 a 89), durante este desarrollo el grano acumula almidón y proteínas (Ji *et al.*, 2010).

La maduración comienza cuando el grano pasa de un estado masoso hasta endurecerse y se pierde la latencia secundaria (Zadoks, 90 a 99). De acuerdo a Acevedo *et al.* (2002) es importante comprender todas las etapas de desarrollo del trigo, ya que en cualquiera existen factores que pueden afectar dicho desarrollo y resultar en una pérdida del rendimiento.

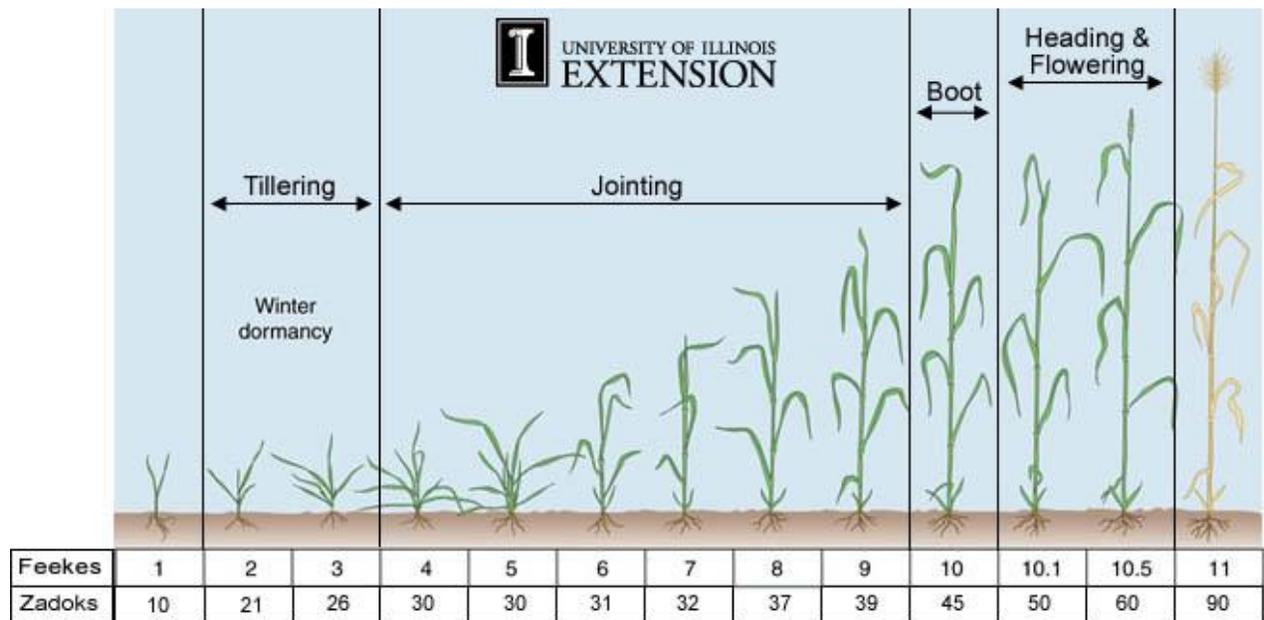


Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo de trigo (Nordby, 2004).

2.1.6. Factores que afectan la Producción

Las condiciones contrastantes bajo las cuales se produce trigo implican un reto a gran escala para los agricultores para que el cultivo sea rentable; de acuerdo a Villaseñor y Espitia (2000) algunos de los principales factores que afectan la producción de trigo en México son: bajas o altas temperaturas, deficiencias hídricas en siembras de riego o de temporal, deficiencias nutricionales, suelos erosionados, degradados y/o infértiles, enfermedades como royas, tizones, manchas

foliares, carbones y fusariosis, presencia de malezas, falta de semilla de variedades recomendadas, seguro y crédito agrícola accesible, falta de asistencia técnica, problemas de comercialización, etc.

2.1.7. Producción Mundial

La producción de trigo ha aumentado aproximadamente un 100% durante las últimas décadas, el aumento máximo observado en cualquier cultivo alimentario. Las prácticas agronómicas mejoradas y las nuevas variedades representan igualmente más del 80% de la ganancia y el área aumentada menos del 20% (Paulsen, 2016).

La producción mundial de trigo ascendió a 765 millones de toneladas (MT) en el año 2019 (FAO, 2020) siendo China el principal productor con 133 MT, le siguen India, Rusia, Estados Unidos y Francia como se observa en la Figura 3 (FAO, 2020).

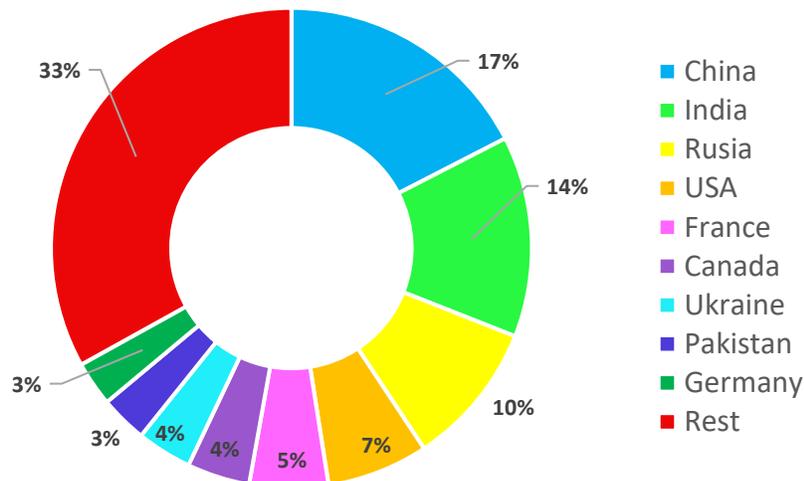


Figura 3. Producción mundial de trigo (FAO, 2020).

La seguridad alimentaria se ha convertido en un tema alarmante e importante en todo el mundo. Con el rápido desarrollo de la urbanización y la industrialización, la forma dominante de garantizar la seguridad alimentaria es mejorando el rendimiento del grano y la calidad de los cultivos en perspectiva de que las tierras cultivables son difíciles de aumentar (Edmondson *et al.*, 2014). El

aumento de la población humana, la escasez de agua, el cambio climático y sus efectos asociados están aumentando a lo largo de los años, desafiando la producción de trigo a mayor escala (Tadesse *et al.*, 2019).

2.1.8. Producción Nacional

En México en 2019 se produjeron cerca de 3.3 millones de toneladas de trigo, concentradas en los estados de Sonora, Baja California y Guanajuato al aportar en conjunto 74.6% de la producción nacional (SIAP, 2020); su grano es considerado como el segundo cereal más importante en la dieta de los mexicanos, que consumen en promedio 57.4 kg per cápita al año.

En México, más del 90% del trigo es producido en condiciones de riego durante el ciclo de invierno en regiones con clima árido y semiárido en el noreste, norte y centro del país. La producción de trigo de temporal es típica durante el ciclo de verano en las áreas con alta elevación en los estados del centro y sur en donde predomina el clima templado húmedo (Escobar, 2014).

Durante 2019 se establecieron alrededor de 10 mil hectáreas para producción de semilla, de las cuales se obtuvieron aproximadamente 66,800 toneladas de categoría certificada la cual cubre el 53% de la demanda nacional (Córdoba, 2019).

2.2. Calidad de Semillas

La semilla es una unidad reproductiva compleja que se forma a partir del óvulo vegetal, después de la fecundación (Doria, 2010). La capacidad de las semillas para germinar y producir una planta normal, es el principal atributo a considerar para evaluar su calidad que comprende una serie de características que determinan su valor para la siembra; dentro de los más relevantes están pureza genética y calidad física, fisiológica y sanitaria (McDonald, 1985; Marcos Filho, 1994; Bishaw *et al.*, 2007; Courbineau, 2012). En el caso de cereales de grano pequeño, el término *calidad de*

semillas normalmente es utilizado con referencia únicamente al vigor, tamaño y germinación de la semilla (Ellis, 1992).

La semilla es la principal responsable de la próxima generación de plantas, manteniendo el germoplasma, mejorando la diversidad de especies y la capacidad de producción (Sharififar, Nazari y Asghari, 2015). En general se considera que la semilla de alta calidad es el principal insumo para obtener altos rendimientos de los cultivos, al producir plantas sanas, resistentes a enfermedades y a condiciones adversas (Bishaw *et al.*, 2007). En condiciones favorables, la germinación de las semillas se produce rápidamente (Bewley *et al.*, 2006); los factores más importantes para la germinación incluyen agua, temperatura, oxígeno y luz (Raven *et al.*, 2005).

La calidad de la semilla es un concepto agronómico múltiple que engloba a un conjunto de atributos físicos, fisiológicos, genéticos y sanitarios (Bishaw *et al.*, 2007). La calidad física representa a la apariencia de la semilla, que depende del tamaño, peso volumétrico, brillantez, pureza analítica, ausencia de semillas de malezas comunes y nocivas, y de otros cultivos; la calidad fisiológica está determinada por la viabilidad, germinación y vigor de las semillas; la calidad genética se refiere a las características que el fitomejorador elige antes de liberar una nueva variedad; y la calidad sanitaria depende de la ausencia de patógenos en las semillas (Delouche, 1980).

2.2.1. Calidad Genética

Se refiere a las características genéticas específicas de la variedad de la semilla (pureza genética). Comprende las características genéticas específicas inherentes a la constitución genética contenida en la semilla que proporciona el potencial para altos rendimientos, mejor calidad de semillas y tolerancia a factores bióticos y abióticos (Bishaw *et al.*, 2007).

La pureza genética tiene un efecto directo en el rendimiento final; así mismo, la autenticidad se determina verificando los registros de la procedencia de semillas para comprobar sus orígenes y trayectoria y los conteos de plantas fuera de tipo en campo (FAO, 2019).

2.2.2. Calidad Física

Se considera como pureza física a la proporción de semilla pura en un lote, una vez identificados los contaminantes como materia inerte y malezas; el componente de las semillas puras, aunado a la capacidad de germinación, determinan el valor para la siembra (FAO, 2019).

La calidad física de la semilla se puede evaluar considerando criterios como contenido de humedad, pureza física, daño mecánico, apariencia, peso de mil semillas y peso volumétrico, entre otros (Tillmann *et al.*, 2003).

2.2.3. Calidad Fitosanitaria

De acuerdo a FAO (2019), este parámetro se refiere a la presencia de patógenos en un lote de semillas; la sanidad de las semillas es una indicación de si las semillas están libres de patógenos, o enfermedades transmitidas por semillas.

Bringel *et al.* (2001) consideran que la sanidad es uno de los principales factores responsables de la expresión de la calidad; así mismo ISTA (2013) considera que una semilla posee calidad fitosanitaria cuando está libre de organismos que constituyan factores de riesgo a la producción.

2.2.4. Calidad Fisiológica

La calidad fisiológica se puede evaluar con pruebas de geminación de semillas en laboratorio (Copeland y McDonald, 2001); además, debe complementarse con una adecuada evaluación de la

capacidad de emergencia de plántulas en campo, por lo que son importantes las pruebas de vigor (Tillmann *et al.*, 2003).

Las pruebas de vigor en semillas tratan de determinar el potencial para una rápida emergencia y desarrollo de plántulas bajo un amplio rango de condiciones ambientales (Rajjou *et al.*, 2012).

De manera general, las propiedades que deben reunir los lotes de semilla para considerarse de calidad de acuerdo a Doria (2010) son:

- Autenticidad: el lote de semillas debe responder a la especie y cultivar deseados.
- Pureza: estar libre de semillas extrañas, semillas de malezas u otros cultivares o especies.
- Limpieza: las semillas deben estar libres de materias extrañas, como palillos o tierra.
- Sanidad: estar libre de patógenos.
- Viabilidad: las semillas deben ser capaces de germinar y desarrollar una plántula normal en condiciones óptimas de siembra.
- Vigor: es la habilidad o característica que posee la semilla de producir plantas sanas y eficientes.

El vigor de las semillas es la suma de esas propiedades que determinan la actividad y el rendimiento de los lotes de semillas, de germinación aceptable, en una amplia gama de ambientes (ISTA, 2013). Villaseñor (1984) define el vigor como la capacidad de la semilla puesta en diversas condiciones ambientales para emerger más rápidamente y producir la mayor cantidad de materia seca en el menor tiempo. El vigor de la semilla no es una propiedad medible individual, pero es un concepto que describe varias características asociadas con los siguientes aspectos del rendimiento del lote de semillas:

- Velocidad y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántulas.
- Capacidad de emergencia de las semillas en condiciones ambientales desfavorables.

- Rendimiento después del almacenamiento, particularmente la retención de la capacidad de germinar.

Un lote de semillas vigoroso es uno que potencialmente puede funcionar bien incluso en condiciones ambientales que no son óptimas para la especie (ISTA, 2013).

Finalmente, el principal objetivo de mejoramiento en el trigo es lograr y mantener un alto rendimiento a medida que la población humana aumenta con una disminución en la tierra cultivada (Jiang *et al.*, 2014). El uso de semillas con alta calidad favorece una mayor productividad (Munamava *et al.*, 2004), pues el establecimiento deficiente en campo se traduce en un rendimiento bajo en la mayoría de las especies agrícolas (Marcos-Filho, 2005).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en invernadero y laboratorio del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo, Estado de México.

3.2. Material Genético

El material genético utilizado fue proporcionado por el Programa de Mejoramiento Genético de Trigo del INIFAP Campo Experimental Valle de México, y consistió en un lote de veinticuatro variedades de trigo harinero desarrolladas en México por el mismo programa durante ocho décadas de investigación (Cuadro 1). Las variedades fueron incrementadas en el Campo Experimental Bajío en los ciclos O-I/2018-19 y O-I/2019-20 y su semilla se utilizó para la evaluación de la calidad física y fisiológica.

Cuadro 1. Variedades de trigo y año de liberación.

No.	Variedad	Genealogía	Año de liberación	Década
1	Candéal 48	ND*	1948	
2	Chapingo 48	Newthatch/Marroqui588	1948	1
3	Kentana 48	ND*	1948	
4	Chapingo 53	Kt48/Y48	1953	
5	Mexe 53	Y48/Kt48	1953	2
6	Bajío 53	Y50/Kt48	1953	
7	Siete Cerros T66	Pj62/Gb55	1966	
8	Tobari F66	Tzpz/Sn64a	1966	3
9	Ciano F67	Pi/Chr//Sn64	1967	
10	Ciano T79	By/Maya/4/Bb//HDd832.5.5/On/3/Cno67/Pj62	1979	
11	Imuris T79	By/Maya/4/Bb//Hd832.5.5/On/3/Cno67IPj62	1979	4
12	Tesia F79	Pl/3/Inia66/Cno//Cal/4/Bjy	1979	
13	Seri M82	KvzIBuho//Ka1/Bb	1982	
14	Ópata M85	Bjy/Jup	1985	5
15	Bacanora T88	Jup/Bjy//Ures	1988	
16	Baviácora M92	BowlNac/Nee/3/Bjy/Coc	1992	
17	Borlaug M95	Hahn*2/PrI	1995	6
18	INIFAP M97	Hahn12*Weaver	1997	
19	Tacupeto F2001	Babax*2/9/KtlBage/IFnIU/3IBza/41Trrn/5/Aldanl6/S Rhlleri/7/Yr/S/Opata	2001	
20	Kronstad F2004	Vee/Koel//Siren13/Ariv92	2004	7
21	Roelfs F2007	Tacupeto F2001 x 2/Kukuna	2007	
22	Borlaug 100 F2014	Roelf07/4/Bow/Nkt//Cbrd/3/Cbrd/5/Fret2/Tukur u//Fret2	2014	
23	Bacorehuis F2015	Rolf07*2/5/Reh/Hare//2*BCN/3/CROC_1/AE.S quarrosa(213)//PGO/4/Huites	2015	8
24	Conatrigo F2015	The1in/2*Wbll1	2015	

Huerta *et al.* (2011). ND= no documentada.

3.3. Evaluación de la calidad física de la semilla

3.3.1. Porcentaje de humedad (PH)

Se determinó el contenido de humedad por el método de secado en la estufa a una temperatura de 130 °C por un periodo de dos horas; se establecieron cuatro repeticiones por variedad y ciclo de producción; utilizando cajas de aluminio con tapa, dentro de las cuales se colocaron 3 g de semilla.

Antes del secado, se pesó la caja con tapa y posteriormente la caja con tapa y semilla, usando una

balanza de precisión. Después del secado se pesó la caja con tapa y semilla (Figura 4). El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{PH (\%)} \text{ (con base en peso húmedo)} = \left[\frac{P2-P3}{P2-P1} \right] \times 100$$

Donde:

P1 = Peso de la caja y su tapa (g)

P2 = Peso de la caja, tapa y semilla (g)

P3 = Peso de la caja, tapa y semilla después del secado en la estufa (g)



Figura 4. Evaluación del porcentaje de humedad: a) peso inicial, b) semilla después del secado.

3.3.2. Peso Volumétrico (PVOL)

Esta variable se evaluó a partir de una muestra de 50 g de semilla; la cual se vertió en una probeta de 100 ml para determinar el volumen ocupado (Figura 5). El dato se obtuvo en cuatro repeticiones por genotipo. El peso volumétrico se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{PVOL (kg hL}^{-1}\text{)} = \left(\frac{50 \text{ g de semilla}}{\text{Volumen ocupado por los 50 g (ml)}} \right) \times 100$$

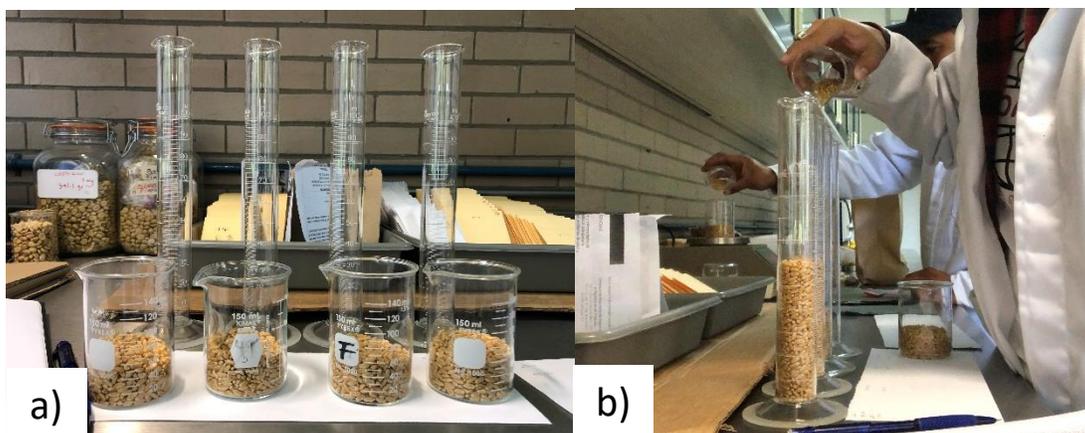


Figura 5. Evaluación del peso volumétrico: a) preparación de la muestra, b) determinación del peso volumétrico.

3.3.3. Peso de Mil Semillas (PMS)

Para esta prueba, de cada variedad se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 semillas cada una (Figura 6); con los datos obtenidos se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Cuando el coeficiente de variación obtenido es menor de 4.0, el peso de mil semillas se obtiene multiplicando la media aritmética de las ocho repeticiones por 10 (ISTA, 2015).

$$\text{Varianza} = \frac{N(\sum x^2) - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

En donde:

X= Peso en (g) de cada repetición

N= Número de repeticiones

Desviación típica (s)= $\sqrt{\text{varianza}}$

Coeficiente de variación = $[\frac{s}{\bar{x}}] \times 100$



Figura 6. Conteo de una repetición de cien semillas.

3.4. Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla

3.4.1. Prueba Estándar de Germinación (PEG)

Para efectuar esta prueba se tomó, por ciclo de producción, una muestra de 400 semillas de cada variedad para establecer cuatro repeticiones de 100 semillas cada una. En el ensayo de germinación se utilizó el método “sobre papel” recomendado por la ISTA (2015), utilizando cajas de plástico. Se empleó como sustrato papel filtro M-2 humedecido con agua destilada. Después, las cajas con semillas se llevaron a un cuarto de germinación. Previo a la prueba de germinación, las semillas se desinfectaron remojándolas en una solución de cloro al 5% por un periodo de 5 minutos. En el cuarto de germinación la distribución de los tratamientos estuvo bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Durante la prueba, se mantuvieron constantes los niveles de humedad y la temperatura de 20 °C. Se realizaron dos conteos: a los 4 y a los 8 días después de establecida la prueba.

Variables evaluadas

Porcentaje de germinación (PG)

Las plántulas con germinación normal fueron aquellas que presentaron raíz, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Esta variable se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PG = \left[\frac{\text{Número de plántulas normales}}{100} \right] \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales (PA)

Se contabilizaron las plántulas que presentaron malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales. La determinación del resultado se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$PA = \left[\frac{\text{Número de plántulas anormales}}{100} \right] \times 100$$

Porcentaje de semillas no germinadas (SG)

Se contaron las semillas que no presentaron estructuras esenciales y el valor se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$SG = \left[\frac{\text{Número de semillas no germinadas}}{100} \right] \times 100$$

Porcentaje de viabilidad (PV)

Es el porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales más anormales) al finalizar la prueba.

$$PV = \left[\frac{\text{Plántulas normales} + \text{Plántulas anormales}}{100} \right] \times 100$$

3.4.2. Prueba de vigor con profundidad de siembra (PPS)

En este ensayo se utilizaron 100 semillas por variedad para formar cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. La siembra se efectuó en semilleros de madera de 5.0 m de longitud por 2.0 m de ancho, utilizando arena de río como sustrato. La parcela útil dentro del semillero fue de un surco de 0.90 m de longitud, con una distancia de 8.75 cm entre surcos. La distancia entre semillas fue de 3.75 cm (Figura 7), colocándolas en posición horizontal con el embrión hacia arriba y cubiertas con una capa de 4 cm de arena. Se aplicó un riego después de la siembra y posteriormente cada tercer día para mantener el sustrato húmedo. El semillero se cubrió con un invernadero móvil tipo “túnel” con estructura metálica y cubierta de polietileno. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y un arreglo de parcelas divididas en donde la parcela grande fue para el factor años y la parcela chica para variedades.



Figura 7. Distribución de las semillas durante la siembra en almácigo.

VARIABLES EVALUADAS

Velocidad de emergencia (VE)

Después de la siembra, se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas, tomando como parámetro la aparición del coleóptilo sobre la superficie; el conteo terminó cuando la

emergencia de las plántulas se estabilizó (Figura 8). Con los valores obtenidos se calculó el índice de emergencia aplicando la ecuación propuesta por Maguire (1962).

$$VE = \sum_{i=1}^n \left[\frac{x_i}{n_i} \right]$$

Donde:

VE= velocidad de emergencia

Xi= número de plántulas emergidas en el *i*-ésimo conteo

Ni= número de días después de la siembra en el *i*-ésimo conteo

N= número de conteos 1, 2,..., n conteos



Figura 8. Emergencia de plántulas en prueba de profundidad de siembra.

Porcentaje de Germinación (PG)

Las plántulas con germinación normal fueron las que presentaron raíz, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones a los 14 días de establecida la prueba. El porcentaje de germinación se calculó con la siguiente fórmula:

$$PG = \left[\frac{\text{Número de plántulas normales}}{25} \right] \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales (PA)

Se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en alguna de sus estructuras esenciales o aquellas que no lograron emerger a la superficie de la arena. La determinación se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$PPA = \left[\frac{\text{Número de plántulas anormales}}{25} \right] \times 100$$

Porcentaje de viabilidad (PV)

Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales más anormales) al finalizar la prueba. Se utilizó la fórmula siguiente:

$$PV = \left[\frac{\text{Plántulas normales} + \text{Plántulas anormales}}{25} \right] \times 100$$

Longitud del Vástago (LV)

Del total de las plántulas normales de cada repetición se tomaron 10 plántulas al azar para medir la longitud de cada una, desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga; el resultado se expresó en centímetros.

Peso Seco del Vástago (PSV)

De cada unidad experimental se ocuparon todas las plántulas normales, se lavaron para eliminar los residuos de arena y se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo; posteriormente, el vástago de las plántulas normales se colocó en una bolsa de papel perforado para someterlo a secado en estufa a 70°C durante 72 h (ISTA, 2015); transcurrido ese tiempo se tomó la lectura del peso en gramos.

3.4.3. Prueba de Salinidad (PS)

Para efectuar la prueba de salinidad se tomó una muestra de 400 semillas de cada variedad, para establecer cuatro repeticiones de 100 semillas cada una. Previo a la prueba, las semillas se desinfectaron remojándolas en una solución de cloro al 5% por un periodo de 5 minutos. Para los tratamientos de salinidad se siguió la metodología propuesta por Santillán (2016); se evaluaron dos soluciones, la primera de 10 dSm^{-1} y la segunda de 0 dSm^{-1} (testigo).

La siembra se realizó usando el método “sobre papel” recomendado por la ISTA (2015), utilizando cajas plásticas. Se empleó como sustrato papel filtro M-2 para establecer cuatro repeticiones de 100 semillas cada una. El sustrato de germinación fue humedecido inicialmente con la solución salina para permitir que las semillas la absorbieran dentro de las primeras horas de la etapa de imbibición. Después, las cajas con semillas se llevaron a un cuarto de germinación con temperatura de 20°C y un fotoperiodo de 8 horas luz, los riegos posteriores se realizaron con agua destilada cada dos días para mantener constantes los niveles de humedad en el sustrato. Se realizaron dos conteos: a los 4 y a los 8 días de establecida la prueba (Figura 9). El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en un arreglo de tratamiento de parcelas divididas.

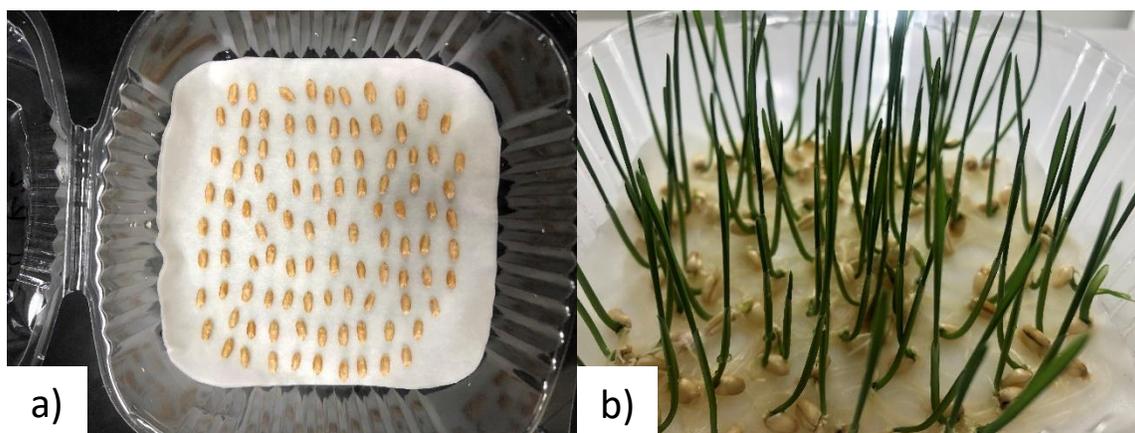


Figura 9. Establecimiento de prueba de salinidad: a) siembra en sustrato con solución salina, b) germinación a los cuatro días después de la siembra.

Variables Evaluadas

Porcentaje de Germinación (PG)

Porcentaje de semillas que produjeron plántulas normales a los 8 días de establecida la prueba. El porcentaje de germinación se calculó con la siguiente fórmula:

$$PG = \left[\frac{\text{Número de plántulas normales}}{100} \right] \times 100$$

Porcentaje de plántulas anormales (PA)

Se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en alguna de sus estructuras esenciales.

La determinación se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$PPA = \left[\frac{\text{Número de plántulas anormales}}{100} \right] \times 100$$

Porcentaje de viabilidad (PV)

Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales más anormales) al finalizar la prueba.

$$PV = \left[\frac{\text{Plántulas normales} + \text{Plántulas anormales}}{100} \right] \times 100$$

Longitud del Vástago (LV)

Del total de las plántulas normales de cada repetición se tomaron 10 plántulas al azar para medir la longitud de cada una, desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga, el resultado se expresó en centímetros.

Peso Seco del Vástago (PSV)

Se incluyó solo la parte aérea de todas las plántulas normales, el vástago se consideró a partir del cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga (Figura 10). Las plúmulas de las plántulas normales se colocaron en bolsas de papel perforadas y se secaron por el método de la estufa durante 72 horas a 70°C (ISTA, 2015). Los resultados se obtuvieron en gramos.

Longitud de Raíz (LR)

A las 10 plántulas utilizadas para obtener el dato de longitud de plúmula, se les midió en centímetros la longitud de la raíz a partir del cuello de la plántula hasta el ápice de la raíz más larga.

Peso Seco de Raíz (PSR)

Se incluyeron todas las raíces de las plántulas normales, se colocaron en bolsas de papel perforadas y se secaron por el método de la estufa durante 72 horas a 70 °C (ISTA, 2015). Los resultados se obtuvieron en gramos.



Figura 10. Separación del vástago y la raíz para obtener el dato de peso seco.

3.5. Análisis Estadístico

Para cada prueba de calidad física y fisiológica se realizaron análisis de varianza, pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05), así como el análisis de correlación de variables respuesta.

Para el procesamiento de la información se empleó el programa estadístico SAS 9.4.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de la calidad física de la semilla

4.1.1. Porcentaje de Humedad

El análisis de varianza para la variable porcentaje de humedad (PH) (Cuadro 2), muestra que hubo diferencias significativas entre variedades, ciclos y para la interacción Variedad x Ciclo; se obtuvo una media de 8.23%. El coeficiente de variación fue bajo (2.98%).

Cuadro 2. Cuadros medios y significancia estadística de la variable Porcentaje de Humedad en 24 variedades de trigo.

FV	GL	PH (%)
Repetición	3	0.11 ns
Variedad	23	1.080 **
Ciclo	1	35.64 **
Var x Ciclo	23	0.36 **
Error	141	0.06
Total	191	
R ²		0.89
C.V. (%)		2.98
Media		8.23

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PH= Porcentaje de humedad, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, ns= no significativo

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias, donde se puede observar que las variedades Candeal 48 y Tacupeto F2001 mostraron el mayor contenido de humedad, mientras que Tesia F79 presentó el valor más bajo; las variedades de reciente liberación, como Borlaug 100 y Bacorehuis F2015, presentaron valores bajos, lo cual indica que se ha mantenido la tendencia de las variedades a tener contenidos de humedad por debajo de lo establecido en las reglas técnicas de certificación. El porcentaje de humedad influye en las propiedades fisiológicas del grano de trigo, provocando que el grano sea más susceptible a la activación enzimática (Faltermaier *et al.*, 2014). Asimismo, éste parámetro influye en otras propiedades del grano como densidad aparente, densidad

verdadera, porosidad, longitud, ancho, espesor y diámetro medio aritmético y geométrico del grano (Sologubik *et al.*, 2013).

Cuadro 3. Comparación de medias de la variable Porcentaje de Humedad en 24 variedades de trigo.

Variedad	PH (%)
Candéal 48	8.81 a
Tacupeto F2001	8.77 a
Ópata M85	8.72 ab
Mexe 53	8.62 abc
Seri M82	8.60 abc
Siete Cerros T66	8.51 abcd
Kronstad F2004	8.49 abcde
Bacanora T88	8.39 abcdef
Kentana 48	8.37 abcdefg
Tobari F66	8.29 bcdefg
Roelfs F2007	8.28 bcdefg
Conatrigo F2015	8.28 bcdefg
Chapingo 48	8.26 cdefg
Baviácora M92	8.20 cdefgh
Bajío 53	8.12 defgh
Chapingo 53	8.09 defgh
INIFAP M97	8.04 efgh
Bacorehuis F2015	8.03 fgh
Borlaug 100 F2014	8.01 fgh
Ciano F67	7.97 fgh
Borlaug M95	7.93 ghi
Ciano T79	7.79 hij
Imuris T79	7.51 ij
Tesia F79	7.38 j

PH= porcentaje de humedad. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En la Figura 11, se presenta el comportamiento medio de la interacción Variedad x Ciclo para la variable PH; se puede destacar el segundo ciclo de producción con valores más altos en todas las variedades; sin embargo, para ambos ciclos los contenidos de humedad se encuentran por debajo de los estándares que la industria semillera demanda. Tesia F79 mostró 6.89% de humedad, lo cual puede resultar desfavorable, ya que valores muy bajos tienden a afectar otras características de la

semilla como viabilidad, germinación y vigor de la plántula. Al ser parte del proceso de postcosecha, se deben requerir niveles de humedad menores a 12% dependiendo del clima; éste parámetro es indispensable monitorearlo ya que permite determinar la duración del transporte, el almacenamiento y el beneficio del grano (Christopolus y Ouzounidou, 2020).

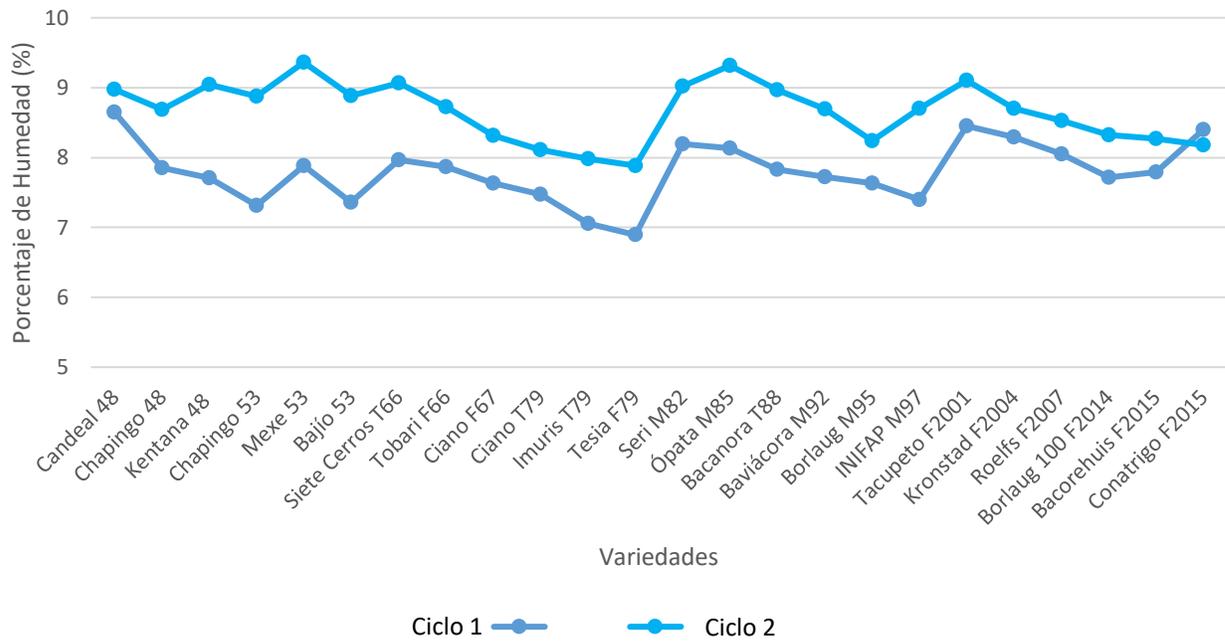


Figura 11. Comportamiento medio de la interacción Variedad x Ciclo para la variable Porcentaje de Humedad.

En el Cuadro 4 se presenta el análisis de varianza para la variable porcentaje de humedad, considerando Décadas; se observan diferencias altamente significativas entre Décadas, Ciclos y su interacción. Se aprecia que de manera general se obtuvo una media de 8.23%, lo cual es un valor aceptable, ya que en la Regla de Calificación de Semillas del SNICS (2020) se considera un rango de 13%.

Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística de la variable Porcentaje de Humedad considerando décadas en 24 variedades de trigo.

FV	GL	PH (%)
Repeticiones	3	0.11 ns
Décadas	7	2.59 **
Ciclo	1	35.64 **
Década x Ciclo	7	0.85 **
Error	173	0.10
Total	191	
R²		0.76
C.V. (%)		3.91
Media		8.23

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PH= Porcentaje de humedad, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, ns= no significativo

El comportamiento promedio de cada una de las décadas evaluadas se muestra en el Cuadro 5, en donde se observa que la década 5 presentó el porcentaje de humedad más alto, con una media de 8.57%, mientras que la década 4 arrojó el valor medio más bajo con 7.56%.

Cuadro 5. Comparación de medias de la variable Porcentaje de Humedad por década.

Década	PH (%)
5	8.57 a
7	8.52 ab
1	8.48 ab
2	8.28 bc
3	8.26 bc
8	8.11 c
6	8.06 c
4	7.56 d

PH= porcentaje de humedad. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La Figura 12 muestra la información obtenida para PH, siendo notable que, a través de las décadas, los valores han ido disminuyendo, especialmente en la Década 4, al obtener una media de 7.56%, lo cual es un valor aceptable pero que sigue comprometiendo otros aspectos de la calidad de la semilla.



Figura 12. Comportamiento medio del Porcentaje de Humedad en cada una de las Décadas evaluadas.

4.1.2. Peso Volumétrico

El análisis de varianza para la variable peso volumétrico (Cuadro 6), mostró diferencias altamente significativas para los factores Variedad, Ciclo y para la interacción Variedad x Ciclo; se obtuvo una media general del 80.35 kg hL⁻¹. El coeficiente de variación fue bajo, por lo que los resultados son confiables.

Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística para la variable Peso Volumétrico (PVOL) de 24 variedades de trigo.

FV	GL	PVOL (kg hL ⁻¹)
Repeticiones	3	0.13 ns
Variedades	23	15.24 **
Ciclo	1	557.70 **
Var x Ciclo	23	6.48 **
Error	141	0.25
Total	191	
R²		0.96
C.V. (%)		0.63
Media		80.35

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PVOL= Peso volumétrico, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, ns= no significativo

En el Cuadro 7, la variedad Siete Cerros T66 mostró el valor medio más alto (82.68 kg hL⁻¹) respecto a las demás variedades; Conatrigo F2015 y Borlaug M95 le siguen con una media de 82.01 y 82.00 kg hL⁻¹ respectivamente; mientras que la variedad Candeal 48 presentó el valor más bajo (76.9 kg hL⁻¹), lo cual coincide con lo expuesto por Gutiérrez *et al.* (2006) quienes afirman en su estudio que el peso volumétrico no es un parámetro indicativo del peso de mil semillas, ya que variedades con pesos volumétricos altos tuvieron pesos medio y/o bajos de mil semillas (Siete Cerros T66). Todas las variedades lograron superar el promedio que se establece como mínimo (74 kg hL⁻¹) para el grado de calidad México 1 de acuerdo a la PROY-NMX-FF-036-SCFI-2019.

Cuadro 7. Comparación de medias de los valores de Peso Volumétrico en 24 variedades de trigo.

Variedad	PVOL (kg hL⁻¹)
Siete Cerros T66	82.68 a
Conatrigo F2015	82.01 ab
Borlaug M95	82.00 ab
Ciano T79	81.69 bc
Bacanora T88	81.53 bc
Tesia F79	81.52 bc
Kentana 48	81.35 bcd
Kronstad F2004	81.18 bcde
INIFAP M97	81.05 cdef
Seri M82	81.00 cdef
Bajío 53	80.85 cdefg
Ópata M85	80.54 defgh
Tacupeto F2001	80.34 efgh
Roelfs F2007	80.21 fghi
Baviácora M92	80.17 fghi
Tobari F66	79.95 ghi
Imuris T79	79.83 hi
Borlaug 100 F2014	79.73 hij
Chapingo 48	79.37 ijk
Mexe 53	78.82 jkl
Bacorehuis F2015	78.80 jkl
Ciano F67	78.77 kl
Chapingo 53	78.17 l
Candeal 48	76.94 m

PVOL= Peso volumétrico. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En el Cuadro 8, donde se presenta el análisis de varianza de la variable Peso Volumétrico para comparar décadas, se observa que se obtuvieron diferencias altamente significativas para Décadas y para Ciclo, pero no para la interacción Década x Ciclo, obteniendo una media de 80.35 kg hL⁻¹.

Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística del factor Décadas para la variable Peso Volumétrico en 24 variedades de trigo.

FV	GL	PVOL (kg hL⁻¹)
Repeticiones	3	0.13 ns
Décadas	7	13.48 **
Ciclo	1	557.70 **
Década x Ciclo	7	3.13 ns
Error	173	2.42
Total	191	
R²		0.61
C.V. (%)		1.93
Media		80.35

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PVOL= Peso volumétrico, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, ns= no significativo

La Figura 13 muestra el comportamiento medio de la interacción Variedad x Ciclo para la variable PVOL; las variedades en el Ciclo 2 presentaron valores bajos respecto al primer Ciclo; aunque ambos ciclos de producción se realizaron en la misma localidad, se considera que las condiciones ambientales de cada uno fueron diferentes, lo que influyó directamente en este parámetro de calidad; de tal manera que el PVOL se vio afectado hasta en un 7% debido a que en el segundo ciclo de producción las condiciones del medio no fueron favorables. Estos resultados apoyan resultados previos reportados por Fernández *et al.* (2015) y Guzmán *et al.* (2016) al encontrar una influencia positiva del ambiente de producción favorable en los parámetros de calidad física de la semilla, así como una respuesta diferencial entre variedades a los diferentes ambientes (ciclos) de producción.

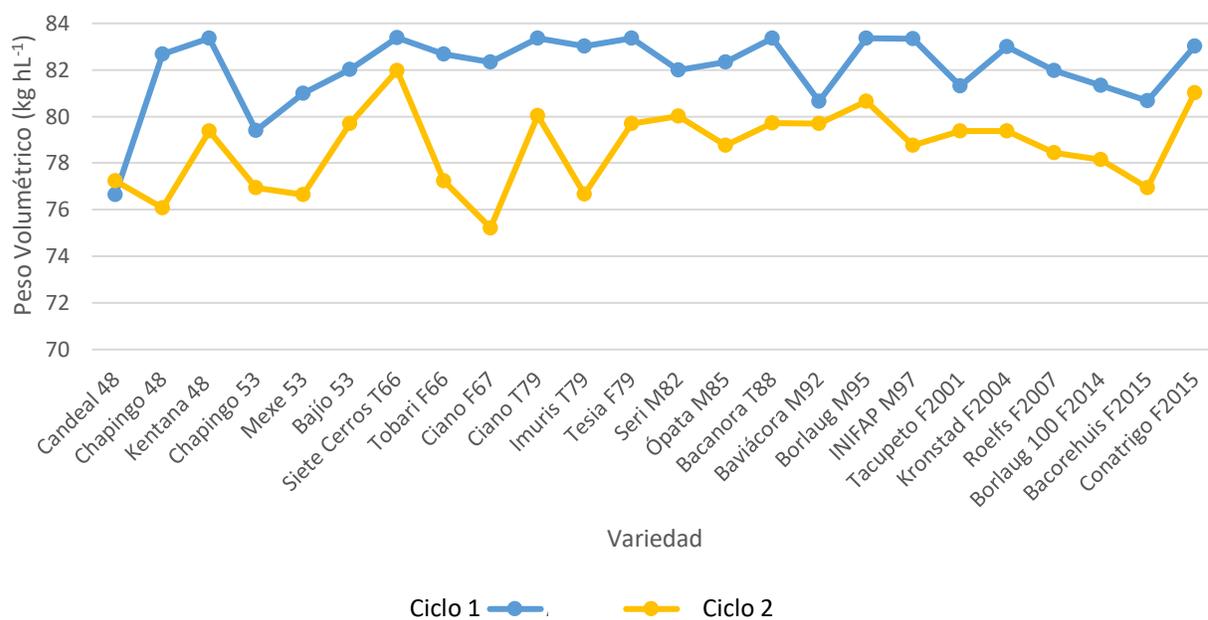


Figura 13. Comportamiento medio de la interacción Variedad x Ciclo para la variable Peso Volumétrico.

El comportamiento medio de cada una de las décadas para PVOL se presenta en el Cuadro 9; las décadas 4, 5 y 6 son estadísticamente iguales obteniendo 81.02, 81.02 y 81.07 kg hL⁻¹ respectivamente; estos valores de PVOL obtenidos para las décadas superan a los reportados por Castañeda *et al.* (2009). En México, se ha enfatizado en incrementar el rendimiento de grano mediante el mejoramiento *per-sé* de sus componentes; sin embargo, González *et al.* (2010) y Rodríguez *et al.* (2011) consideran que existen otros aspectos como el manejo agronómico que pueden influir en éste, tales como fecha de siembra, fertilización, etc.

De manera general, PVOL presentó un comportamiento similar en las últimas décadas, el cual se ve atribuido a la diferencia de tamaño de grano que existe entre las variedades estudiadas. Su *et al.* (2016) consideran que características como longitud, ancho y grosor de grano actúan como componentes en el peso y tamaño del mismo, rasgos que contribuyen indirectamente al

rendimiento y al Peso de Mil Semillas, considerándose como un predictor de la calidad de trigo asociado al proceso de la molienda (Osborne y Anderssen, 2003).

Cuadro 9. Comparación de medias por década del Peso Volumétrico en 24 variedades de trigo.

Década	PVOL (kg hL⁻¹)
6	81.07 a
4	81.02 a
5	81.02 a
7	80.58 ab
3	80.47 ab
8	80.18 ab
2	79.28 b
1	79.22 b

PVOL= Peso volumétrico. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La Figura 14 muestra una tendencia creciente respecto a la variable PVOL; sin embargo, para las últimas dos décadas se obtuvieron valores menores a los de sus dos décadas antecesoras. Fernández *et al.* (2015) consideran al peso volumétrico como un indicador de la calidad de semilla obtenida en campo en relación con el manejo agronómico y las condiciones ambientales que se presentan durante el desarrollo del cultivo y son expresadas en la semilla; en la presente investigación los valores de PVOL dependieron más de los genotipos que del efecto ambiental, ya que, en los dos ciclos de producción, las 24 variedades mostraron un comportamiento semejante.



Figura 14. Comportamiento medio del Peso Volumétrico de cada una de las Décadas evaluadas.

4.1.3. Peso de Mil Semillas

El análisis de varianza de la variable Peso de Mil Semillas (PMS) (Cuadro 10) mostró diferencias significativas para los factores Variedad, Ciclo y para la interacción Variedad x Ciclo obteniendo una media general de 40.06 g.

Cuadro 10. Cuadrados medios y significancia estadística para la variable Peso de Mil Semillas en 24 variedades de trigo.

FV	GL	PMS (g)
Repeticiones	3	0.54 ns
Variedades	23	206.38 **
Ciclo	1	318.72 **
Var x Ciclo	23	25.97 **
Error	141	0.36
Total	191	
R²		0.99
C.V. (%)		1.50
Media		40.06

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PMS= Peso de mil semillas, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, ns= no significativo

En el Cuadro 11 se observan las medias para cada una de las variedades, donde se destaca Conatrigo F2015 como la variedad con el valor más alto (48.41 g), le siguen Borlaug 100 F2014, Roelfs F2007 y Bacorehuis F2015 con 47.55, 47.02 y 47.0 gramos, respectivamente; por otro lado, Candeal 48 y Bacanora T88 obtuvieron los menores pesos con 29.75 y 34.05 g, respectivamente. Würschum *et al.* (2018) consideran que explorar la variación genética del PMS y sus rasgos relacionados con otros componentes son un enfoque eficaz para aumentar el rendimiento de trigo; los resultados coinciden con lo que indican Valenzuela *et al.* (2018) en referencia a las variedades antes mencionadas como las de mayor rendimiento y, con Paquini *et al.* (2016) quienes afirman que PMS se relaciona de manera lineal y positiva con la era de la liberación de las variedades, indicando que éste carácter ha contribuido significativamente al aumento del rendimiento de grano en el mejoramiento genético de trigo en México.

Cuadro 11. Comparación de medias de los valores de Peso de Mil Semillas en 24 variedades de trigo.

Variedad	PMS (g)
Conatrigo F2015	48.41 a
Borlaug 100 F2014	47.55 ab
Roelfs F2007	47.02 bc
Bacorehuis F2015	47.00 bc
Baviácora M92	46.39 cd
Tacupeto F2001	45.36 d
Siete Cerros T66	44.05 e
Chapingo 53	42.69 f
INIFAP M97	41.87 f
Imuris T79	40.03 g
Borlaug M95	40.03 g
Seri M82	39.54 g
Kentana 48	39.44 g
Bajío 53	39.10 g
Mexe 53	37.45 h
Ópata M85	37.38 h
Kronstad F2004	37.27 h
Tobari F66	36.60 hi
Chapingo 48	35.65 ij
Ciano T79	35.41 j
Ciano F67	34.81 jk
Tesia F79	34.55 jk
Bacanora T88	34.05 k
Candeal 48	29.75 l

PMS= peso de mil semillas. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En la Figura 15, donde se muestra el comportamiento medio de la interacción Variedad x Ciclo para la variable PMS, se observa que las variedades Siete Cerros T66, Baviácora M92, Borlaug M95, Roelfs F2007, Borlaug 100 F2014, Bacorehuis F2015 y Conatrigo F2015 presentaron valores de mayor PMS en el Ciclo 2, a diferencia del resto de variedades que expresaron mayor PMS en el Ciclo 1. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Paquini *et al.* (2016) para la misma localidad y sistema de producción (riego normal), obteniendo mayor expresión en el peso de grano y rendimiento de grano las variedades de reciente liberación.

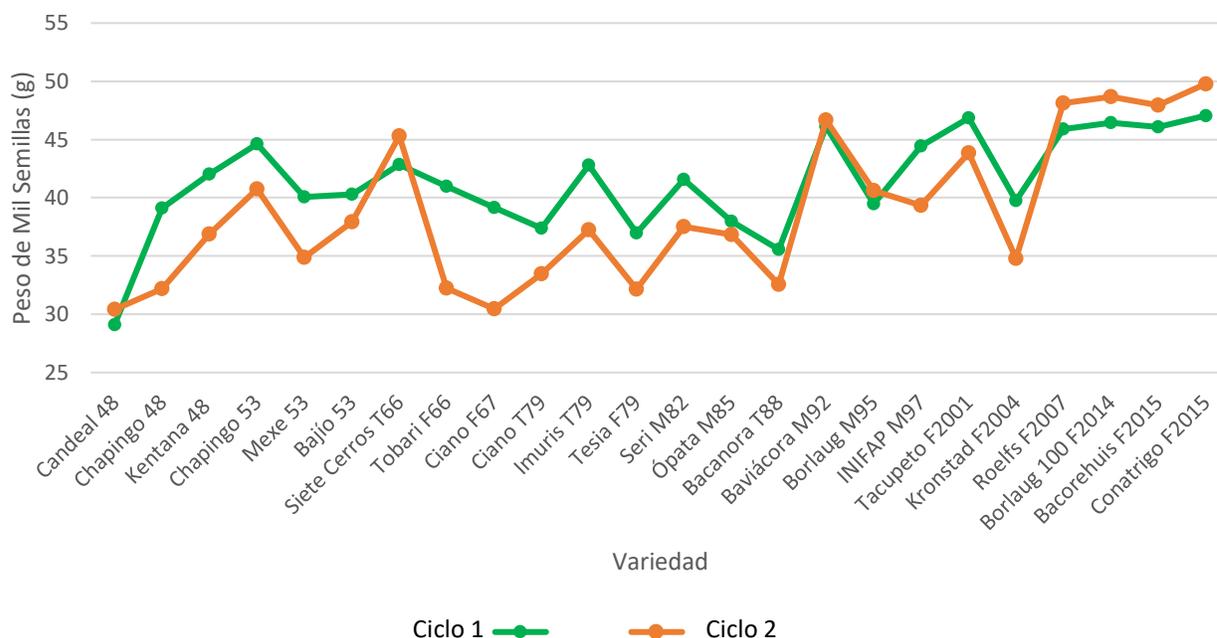


Figura 15. Comportamiento medio de la interacción Variedad x Ciclo para la variable Peso de Mil Semillas.

El Cuadro 12 presenta el análisis de varianza para PMS a fin de comparar décadas, mostrando que se obtuvieron diferencias altamente significativas para Décadas y Ciclo, mientras que para la interacción Década x Ciclo se obtuvo diferencia significativa, con una media general de 40.06 g.

Cuadro 12. Cuadrados medios y significancia estadística del factor Décadas para la variable Peso de Mil Semillas en 24 variedades de trigo.

FV	GL	PMS (g)
Repeticiones	3	0.54 ns
Décadas	7	427.22 **
Ciclos	1	318.72 **
Década x Ciclo	7	33.47 *
Error	173	12.54
Total	191	
R²		0.62
C.V. (%)		8.84
Media		40.06

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PMS= Peso de mil semillas, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *= significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo

En el Cuadro 13, donde se muestra el comportamiento medio para cada una de las décadas evaluadas para la variable de PMS; se observa que la década 8, conformada por las tres variedades de más reciente liberación, presentan la mejor media con 47.66 g, lo cual coincide con Sehgal *et al.* (2019), quienes afirman que PMS es un rasgo hereditario estable y también un objetivo de selección importante para la mejora genética del rendimiento de trigo.

En las últimas tres décadas, se mantienen valores altos para PMS; Tian *et al.* (2011) atribuyen un aumento lineal en estos parámetros con el desarrollo de cultivares desde la década de 1950 hasta el 2000; el PMS principalmente está determinado por factores genéticos los cuales se ven influenciados por efectos de interacción genotipo x ambiente (Liu *et al.*, 2020).

Cuadro 13. Comparación de medias de la variable Peso de Mil Semillas por Década.

Década	PMS (g)
8	47.66 a
7	43.22 b
6	42.76 bc
2	39.75 cd
3	38.49 d
5	36.99 de
4	36.66 de
1	34.95 e

PMS= peso de mil semillas. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La Figura 16 muestra una tendencia ascendente de PMS a través de las Décadas, por lo que se puede decir que el mejoramiento genético de trigo en México ha generado variedades con mayor peso de semilla; al respecto, Ayoub *et al.* (2002), Qin *et al.* (2015) y Liu *et al.* (2020) indican que el PMS aumenta significativamente con la liberación y uso de variedades modernas, presentando una relación positiva con otros componentes del rendimiento, y consideran que éstos son rasgos controlados por múltiples genes influenciados por las condiciones ambientales.

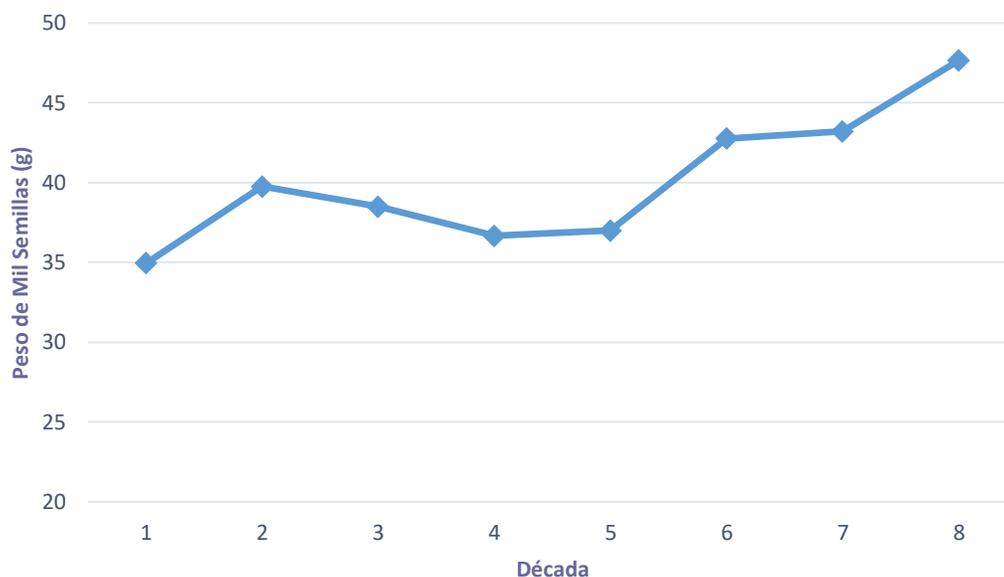


Figura 16. Comportamiento medio del Peso de Mil Semillas de cada una de las Décadas evaluadas

4.2. Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla

4.2.1. Prueba Estándar de Germinación

La prueba estándar de germinación (PEG) realizada bajo condiciones de laboratorio, en su análisis de varianza (Cuadro 14) presentó diferencias significativas para la fuente de variación Variedad en todas las variables evaluadas; mientras que Ciclo sólo tuvo diferencias altamente significativas para las variables PG, SG y PV. La interacción entre Variedad x Ciclo obtuvo diferencias altamente significativas para las variables PG, SG y PV.

Cuadro 14. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en la Prueba Estándar de Germinación de 24 variedades de trigo.

FV	GL	PG	PA	SG	PV
Repeticiones	3	16.97 *	1.28 ns	14.76 *	14.54 *
Variedades	23	77.60 **	3.65 **	58.80 **	58.30 **
Ciclo	1	405.42 **	4.68 *	490.88 **	497.29 **
Var x Ciclo	23	57.23 **	1.58 ns	45.34 **	44.93 **
Error	141	6.64	1.58	6.12	6.15
Total	191				
R²		0.79	0.36	0.77	0.77
C.V. (%)		2.71	115.01	64.31	2.58
Media		95.04	1.09	3.84	96.14

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PG= porcentaje germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *= significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo

En el Cuadro 15 se presenta la comparación de medias de las variables evaluadas en la prueba estándar de germinación, en donde se puede observar que la variedad Kentana 48 presentó al valor más alto para PG y PV con valores de 99 y 99.5%, respectivamente, mientras que Bacanora T88 tuvo el valor más bajo para las mismas variables (88.87 y 90.75%). Por otra parte, Conatrigo F2015 y Bacorehuis F2015 se encuentran en un punto medio para las variables PG y PV; no obstante que al ser variedades de reciente liberación, se esperaba tuvieran los valores más altos. La ISTA (2013) define la germinación como la emergencia y desarrollo de la plántula hasta una etapa en la que el aspecto de sus estructuras esenciales indica si puede o no desarrollarse hasta convertirse en una planta satisfactoria en condiciones favorables.

Cuadro 15. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de Germinación de 24 variedades de trigo.

Variedad	PG	PA	SG	PV
Kentana 48	99.00 a	0.50 b	0.50 g	99.50 a
Imuris T79	98.25 ab	0.62 b	0.87 g	99.87 ab
Ópata M85	98.00 ab	0.62 b	1.37 fg	98.62 ab
Chapingo 53	97.87 ab	0.87 ab	1.25 fg	98.75 ab
Bajío 53	97.62 ab	1.25 ab	1.12 fg	98.87 ab
Borlaug M95	97.50 ab	1.12 ab	1.37 fg	98.62 ab
Chapingo 48	97.37 abc	1.00 ab	1.62 fg	98.37 ab
Borlaug 100 F2014	97.37 abc	1.00 ab	1.62 fg	98.37 ab
Tesia F79	97.00 abc	0.62 b	2.37 efg	97.62 abc
Bacorehuis F2015	96.62 abcd	1.00 ab	2.37 efg	97.62 abc
INIFAP M97	96.37 abcd	0.87 ab	2.75 efg	97.25 abc
Seri M82	96.25 abcd	0.50 b	3.25 defg	96.75 abcd
Candéal 48	95.87 abcd	0.62 b	3.50 defg	96.50 abcd
Mexe 53	95.50 abcd	0.50 b	4.00 defg	96.00 abcd
Ciano F67	95.25 abcd	0.87 ab	3.87 defg	96.12 abcd
Kronstad F2004	94.87 abcde	0.62 b	4.50 bcdefg	95.50 abcdef
Conatriga F2015	94.12 bcdef	1.50 ab	4.37 cdefg	95.62 abcde
Tobari F66	94.00 bcdef	1.25 ab	4.75 abcdefg	95.25 abcdefg
Tacupeto F2001	92.62 cdefg	0.62 b	6.75 abcde	93.25 cdefg
Roelfs F2007	91.12 defg	2.37 ab	5.50 abcdef	94.50 bcdefg
Ciano T79	90.37 efg	0.62 b	9.00 ab	91.00 fg
Siete Cerros T66	89.37 fg	3.00 a	7.62 abcd	92.37 defg
Bacanora T88	88.87 g	1.87 ab	9.25 a	90.75 g
Baviácora M92	88.87 g	2.37 ab	8.75 abc	91.25 efg

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En la matriz de correlación entre las medias de las variables evaluadas en la Prueba Estándar de Germinación (Cuadro 16), se observa una asociación positiva y altamente significativa entre PG con PV; mientras que, como es de esperarse se asoció de forma negativa con las variables PA y SG. La variable PA tuvo asociación positiva significativa de escasa magnitud con SG y con PV, negativa.

Semillas sin Germinar (SG) presentó una asociación altamente significativa pero negativa con el Porcentaje de Viabilidad (PV). Estos resultados junto con los de Khan *et al.* (2010) sostienen que los coeficientes de correlación entre la germinación y el vigor varían de acuerdo a la especie, mientras que la ISTA (2002) indica que la prueba de germinación estándar tiene como objetivo estimar el potencial de germinación de un lote de semillas y a su vez utilizarse para comparar diferentes lotes.

Cuadro 16. Matriz de correlaciones de las variables evaluadas en la prueba estándar de germinación.

	PG	PA	SG	PV
PG	1.000	-0.42264 **	-0.96098 **	0.96099 **
PA		1.000	0.15716 *	-0.15551 *
SG			1.000	-0.99948 **
PV				1.000

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *=significativo al 0.05 de probabilidad.

Por otro lado, el Cuadro 17 muestra el análisis de varianza realizado para la PEG utilizando las Décadas como fuente de variación, donde se observa que hay diferencia altamente significativa para la variable PG, diferencias significativas para SG y PV y sin diferencia significativa en PA. Asimismo, la interacción de Década x Ciclo no mostró diferencias significativas en esta prueba.

Cuadro 17. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba Estándar de Germinación de 24 variedades de trigo considerando Décadas.

FV	GL	PG	PA	SG	PV
Repeticiones	3	16.97 ns	1.28 ns	14.76 ns	14.54 ns
Décadas	7	67.30 **	3.27 ns	49.04 *	49.20 *
Ciclo	1	405.42**	4.68 ns	490.88 **	497.29 **
Dec x Ciclo	7	26.70 ns	0.84 ns	24.23 ns	24.48 ns
Error	173	19.53	1.82	15.87	15.75
Total	191				
R²		0.24	0.10	0.27	0.27
C.V. (%)		4.65	123.36	103.51	4.12
Media		95.04	1.09	3.84	96.14

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *= significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo

Cuando se comparan estadísticamente los valores medios de cada una de las variables respecto a las Décadas (Cuadro 18), se observa que las primeras dos Décadas presentaron los valores más altos para PG (97.41 y 97.0%), mientras que el conjunto de variedades que conforman a la Década 3 mostraron en promedio los valores más bajos (92.87%); en relación a la variable PV, la Década 1 mostró el valor más alto (Figura 17); estos resultados podrían ser un indicador de que esta variable no está asociada a los progresos genéticos que ha logrado el programa mexicano de trigo, que según Paquini *et al.* (2016) son del orden del 1.21% anual para rendimiento de grano.

Cabe señalar que la PEG no es prueba de vigor, pero complementada con otras pruebas como envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica y conteo de emergencia de radículas, permiten estimar el potencial de emergencia en campo bajo condiciones ambientales contrastantes (Costa y de Carvalho, 2006; Khan *et al.*, 2010; Guan *et al.*, 2018).

Cuadro 18. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba Estándar de Germinación considerando Décadas.

Década	PG	PA	SG	PV
1	97.41 a	0.70 a	1.87 b	98.12 a
2	97.00 ab	0.87 a	2.12 ab	97.87 ab
3	92.87 c	1.70 a	5.41 a	94.58 b
4	95.20 abc	0.62 a	4.08 ab	95.83 ab
5	94.37 abc	1.00 a	4.62 ab	95.37 ab
6	94.25 abc	1.45 a	4.29 ab	95.70 ab
7	93.20 bc	1.20 a	5.58 a	94.41 b
8	96.04 abc	1.16 a	2.79 ab	97.20 ab

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

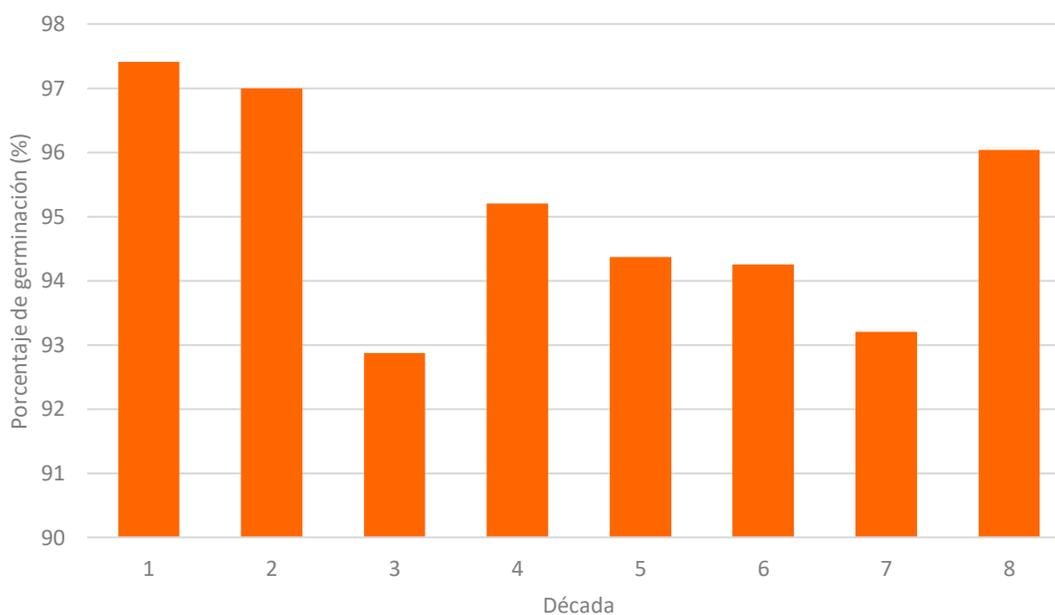


Figura 17. Porcentaje de germinación medio de cada una de las Décadas evaluadas en la PEG.

4.2.2. Prueba de vigor con Profundidad de siembra

El Cuadro 19 muestra el análisis de varianza obtenido para la Prueba de Vigor con Profundidad de Siembra (PPS), donde se observa que el factor Variedades obtuvo diferencias altamente significativas para todas las variables, excepto PV, donde solo hubo diferencia significativa. El

factor Ciclo, obtuvo diferencias altamente significativas solamente para las variables SG, PV y LV; diferencias significativas para PG y no hubo diferencias estadísticas para el resto de las variables.

Por otro lado, la interacción Variedad x Ciclo presentó diferencia altamente significativa para la variable VE y diferencias significativas para el resto de las variables, exceptuando PA.

Cuadro 19. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de vigor con Profundidad de Siembra en 24 variedades de trigo.

FV	GL	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	VE
Repeticiones	3	1619.63 **	117.11 **	33.00 ns	33.00 ns	65.83 **	0.470 **	0.15 ns
Variedades	23	233.96 **	163.73 **	105.55 **	105.55 *	12.28 **	0.091 **	0.65 **
Ciclo	1	630.75 *	200.08 ns	1541.33 **	1541.33 **	194.50 **	0.007 ns	0.09 ns
Var x Ciclo	23	183.09 *	87.38 ns	88.28 *	88.28 *	3.22 *	0.050 *	0.53 **
Error	141	110.41	85.56	49.56	49.56	2.08	0.03	0.10
Total	191							
R2		0.49	0.49	0.46	0.45	0.71	0.51	0.64
C.V. (%)		13.39	84.21	65.74	7.88	7.13	21.96	13.67
Media		78.43	10.85	10.70	89.29	20.22	0.806	2.40

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= Peso seco del vástago, VE= velocidad de emergencia, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *=significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo.

El Cuadro 20 muestra el comportamiento medio de las variedades para cada una de las variables evaluadas en la PPS; destacan las variedades Siete Cerros T66 y Conatrigo F205 en la variable LV con los valores más altos; Siete Cerros T66 obtuvo un PV mayor al resto de las variedades; Kentana 48 y Chapingo 53 obtuvieron los mayores PSV; por otro lado, Ópata M85 se destacó como la variedad con la mejor VE; por lo anterior se podrían considerar a estas variedades como las más vigorosas respecto al resto; esto sustentado con el estudio de Gutiérrez *et al.* (2006) quienes afirman que el vigor está fuertemente influenciado y correlacionado con variables respuesta como materia seca, longitud del coleóptilo y longitud de plántula, los cuales son factores determinantes

para la selección de líneas avanzadas o de variedades liberadas en los programas de mejoramiento genético.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta prueba, Paulsen (2016), determina que la profundidad óptima de siembra de trigo en suelos húmedos es de 2 a 5 centímetros, ya que proporciona una cobertura adecuada para la germinación y promueve raíces y brotes vigorosos; Hall (2012) recomienda que el trigo no se siembre a una profundidad menor a 2.54 cm o mayor a 7.5 cm, mientras que Bazzaz *et al.* (2018) plantean que la emergencia de plántulas es mayor y más rápida en siembra de 4 a 6 cm de profundidad.

Cuadro 20. Comparación de medias de las variables evaluadas en 24 variedades de trigo en Prueba con Profundidad de Siembra.

Variedad	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	VE
Borlaug M95	86.50 a	6.50 ab	7.00 abc	93.00 abc	18.43 cd	0.78 ab	2.43 abcde
Tacupeto F2001	86.00 ab	4.50 b	9.50 abc	90.50 abc	20.86 abcd	0.92 ab	2.57 abcde
Kentana 48	85.50 ab	4.00 b	10.50 abc	89.50 abc	21.03 abc	1.01 a	2.62 abc
Chapingo 53	84.00 ab	7.50 ab	8.50 abc	91.50 abc	21.16 ab	0.99 a	2.51 abcde
Candeal 48	84.00 ab	8.00 ab	8.00 abc	92.00 abc	20.71 abcd	0.71 ab	2.39 abcdef
Bacorehuis F2015	84.00 ab	7.50 ab	8.50 abc	91.50 abc	21.01 abc	0.95 ab	2.24 bcdef
Siete Cerros T66	82.00 ab	12.00 ab	6.00 c	94.00 a	22.17 a	0.84 ab	2.37 abcdef
Chapingo 48	80.50 ab	7.50 ab	12.00 abc	88.00 abc	18.24 d	0.76 ab	2.57 abcde
Mexe 53	80.50 ab	10.50 ab	9.00 abc	91.00 abc	40.49 abcd	0.88 ab	2.46 abcde
Tobari F66	79.50 ab	5.50 b	15.00 abc	85.00 abc	19.70 abcd	0.84 ab	2.01 def
Ópata M85	79.00 ab	8.50 ab	12.50 abc	87.50 abc	19.88 abcd	0.80 ab	2.92 a
Roelfs F2007	79.00 ab	8.00 ab	13.00 abc	87.00 abc	20.60 abcd	0.86 ab	2.43 abcde
Imuris T79	79.00 ab	13.50 ab	7.50 abc	92.50 abc	19.69 abcd	0.83 ab	1.97 ef
Ciano T79	78.00 ab	13.50 ab	8.50 abc	91.50 abc	19.01 bcd	0.71 ab	1.79 f
Bajío 53	78.00 ab	9.50 ab	12.50 abc	87.50 abc	21.52 ab	0.83 ab	2.59 abcd
Borlaug 100 F2014	77.50 ab	9.00 ab	13.50 abc	86.50 abc	21.60 ab	0.91 ab	2.53 abcde
Bacanora T88	77.00 ab	16.50 ab	6.50 bc	93.50 ab	18.31 d	0.66 b	2.83 ab
Tesia F79	76.50 ab	13.50 ab	10.00 abc	90.00 abc	18.24 d	0.69 ab	2.08 cdef
INIFAP M97	75.00 ab	15.50 ab	9.50 abc	90.50 abc	18.36 cd	0.63 b	2.50 abcde
Seri M82	73.50 ab	16.00 ab	10.50 abc	89.50 abc	21.46 ab	0.72 ab	2.79 ab
Ciano F67	72.00 ab	16.50 ab	11.50 abc	88.50 abc	20.73 abcd	0.70 ab	1.99 def
Baviácora M92	69.50 ab	22.50 a	8.00 abc	92.00 abc	19.72 abcd	0.76 ab	2.60 abcd
Conatriga F2015	69.00 ab	11.50 ab	19.50 ab	80.50 bc	21.81 a	0.83 ab	2.25 bcdef
Kronstad F2004	67.00 b	13.00 ab	20.00 a	80.00 c	20.47 abcd	0.66 b	2.24 bcdef

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, VE= velocidad de emergencia. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En la Figura 18 se muestran los valores de VE para las 24 variedades, en donde se observa que no existe una tendencia entre esta variable y el mejoramiento genético.

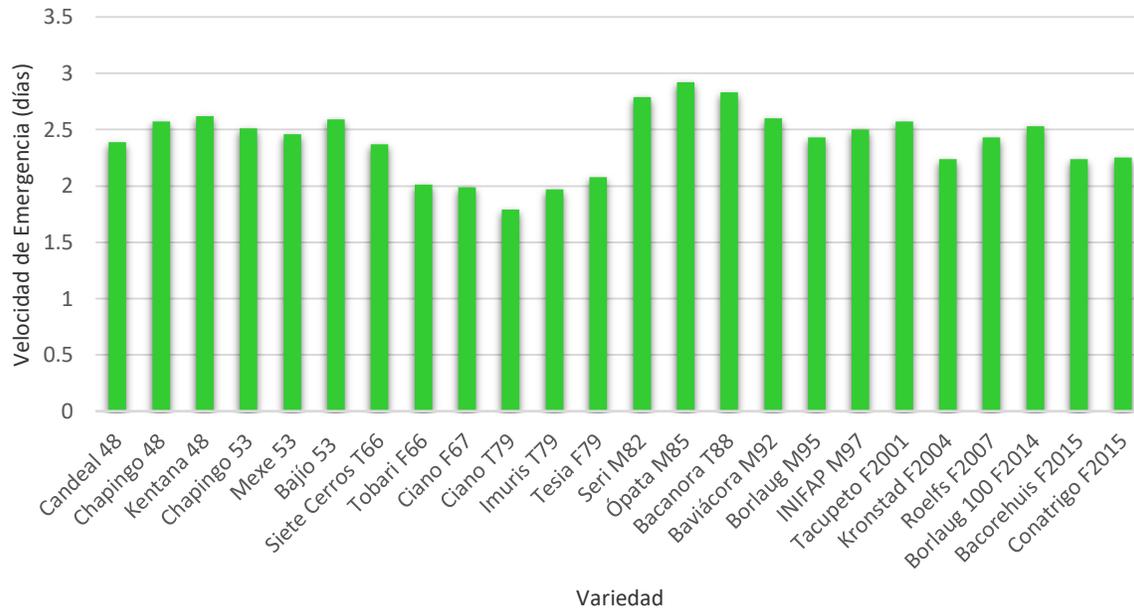


Figura 18. Comportamiento medio de la Velocidad de Emergencia de cada una de las Variedades evaluadas.

En la matriz de correlación entre las medias de las variables evaluadas en la Prueba de Profundidad de Siembra (Cuadro 21), se observa una asociación altamente significativa entre PG con PV y PSV; asociación significativa sólo con LV, y de forma negativa con PA y SG; con la variable VE no hubo relación significativa. Gutiérrez *et al.* (2006) señalan que a mayores profundidades se tendrá una mayor acumulación de materia seca, debido a una mayor longitud de plántula y una mayor longitud del coleóptilo.

La variable Plántulas Anormales mostró asociación significativa con la variable PV, y asociación negativa con SG, LV y PSV; asimismo no presentó asociación significativa con la variable VE.

Semillas sin Germinar presentó una asociación significativa positiva con LV y con PV y PSV, negativa. Por otro lado, no presentó diferencia en la asociación con la variable VE.

Porcentaje de Viabilidad muestra una asociación altamente significativa con la variable PSV, negativa con LV y no mostró significancia estadística con la variable VE.

Longitud de la Parte Aérea se asoció de forma altamente significativa con la variable PSV, pero no presentó asociación con VE.

La variable Peso de Materia Seca de Parte Aérea no mostró asociación significativa con la variable VE.

Cuadro 21. Matriz de correlaciones de variables evaluadas en la prueba de vigor con profundidad de siembra.

	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	VE
PG	1.000	-0.764 **	-0.508 **	0.508 **	0.259 *	0.739 **	0.016 ns
PA		1.000	-0.166 *	0.166 *	-0.402 **	-0.650 **	0.008 ns
SG			1.000	-1.000 **	0.141 *	-0.261 **	-0.036 ns
PV				1.000	-0.141 *	0.261 **	0.036 ns
LV					1.000	0.564 **	-0.043 ns
PSV						1.000	-0.023 ns
VE							1.000

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, VE= velocidad de emergencia, ***=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *=significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo.

En el análisis estadístico del comportamiento del vigor por efecto del mejoramiento genético durante ocho décadas (Cuadro 22), se encontró que para la fuente de variación Década hubo diferencias altamente significativas para la variable LV y diferencias significativas para PA, SG, PV, PSV y VE; mientras que para la fuente de variación Ciclo sólo hubo diferencia altamente significativa para las variables SG, PV y LV, diferencias significativas para las variables PG y sin diferencias para las variables PA, PSV y VE. La interacción Década x Ciclo sólo mostró diferencias altamente significativas para la variable Velocidad de Emergencia.

Cuadro 22. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de vigor con Profundidad de Siembra de 24 variedades de trigo considerando Décadas.

FV	GL	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	VE
Repeticiones	3	1619.63 **	1873.86 **	33.00 ns	33.00 ns	65.83 **	0.47 **	0.15 ns
Décadas	7	137.32 ns	207.89 *	116.33*	116.33 *	22.21 **	0.11 *	1.80 **
Ciclo	1	630.75 *	200.08 ns	1541.33**	1541.33 **	194.50 **	0.007 ns	0.09 ns
Década x Ciclo	7	108.84 ns	71.32 ns	72.57 ns	72.57 ns	3.29 ns	0.03 ns	1.11 **
Error	173	135.48	90.19	58.52	58.52	2.72	0.03	0.12
Total	191							
R2		0.23	0.33	0.22	0.22	0.54	0.27	0.48
C.V. (%)		14.83	87.49	71.44	8.56	8.16	24.23	14.90
Media		78.43	10.85	10.70	89.29	20.22	0.80	2.40

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= Peso seco del vástago, VE= velocidad de emergencia, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *=significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo.

Las décadas que presentaron mayor Velocidad de Emergencia fueron la 5 y la 1 con valores de 2.84 y 2.53 días, respectivamente, mientras que la década 4 mostró la menor velocidad de emergencia con un valor de 1.95 (Cuadro 23). Asimismo, la década 8 presentó el valor más alto para la variable Longitud del Vástago (21.47 cm) y la década 2 para la variable PSV (0.90 g), reafirmando el concepto de vigor como la capacidad de la semilla puesta bajo condiciones ambientales diversas para producir la mayor cantidad de materia seca en el menor tiempo (Villaseñor, 1984).

La prueba de vigor con profundidad de siembra de 4 cm presentó buenos resultados; sin embargo, una siembra profunda de 6 a 7 cm posiblemente podría haber permitido encontrar mayor diferencia entre los genotipos, ya que de acuerdo con Villaseñor (1984) una prueba de vigor debe de permitir someter a los genotipos a las condiciones más adversas para la emergencia y así poder evaluar la producción de materia seca en el menor tiempo.

Cuadro 23. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de vigor con Profundidad de Siembra considerando Décadas.

Década	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	VE
1	83.33 a	6.50 a	10.16 a	89.83 a	19.99 bc	0.83 ab	2.53 ab
2	80.83 a	9.16 a	10.00 a	90.00 a	21.06 ab	0.90 a	2.52 b
3	77.83 a	11.33 a	10.83 a	89.16 a	20.87 ab	0.79 ab	2.12 cd
4	77.83 a	13.50 a	8.66 a	91.33 a	18.98 c	0.74 ab	1.95 d
5	76.50 a	13.66 a	9.83 a	90.16 a	19.88 bc	0.73 ab	2.84 a
6	77.00 a	14.83 a	8.16 a	91.83 a	18.84 c	0.72 b	2.51 b
7	77.33 a	8.50 a	14.16 a	85.83 a	20.65 ab	0.81 ab	2.41 bc
8	76.83 a	9.33 a	13.83 a	86.16 a	21.47 a	0.89 ab	2.34 bc

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, VE= velocidad de emergencia. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Las Figuras 19 y 20 presentan los valores obtenidos en las variables PSV y VE para cada una de las décadas; se puede observar que para PSV la década 2 alcanzó el mayor valor con 0.90 g, seguido de la década 8 con 0.89 g. Para VE se aprecian diferencias de 1 a 2 días entre décadas; la década 5 obtuvo el máximo valor para esta variable con 2.84 días, lo cual se puede asociar con el vigor *per-sé* de las variedades, ya que todas se establecieron en condiciones favorables. La prueba de velocidad de emergencia propuesta por Maguire (1962), permite estimar el vigor de las plántulas para ser utilizadas en los programas de mejoramiento, ya que plántulas con mejor vigor cuentan con características favorables en área foliar, peso seco y longitud de raíz.

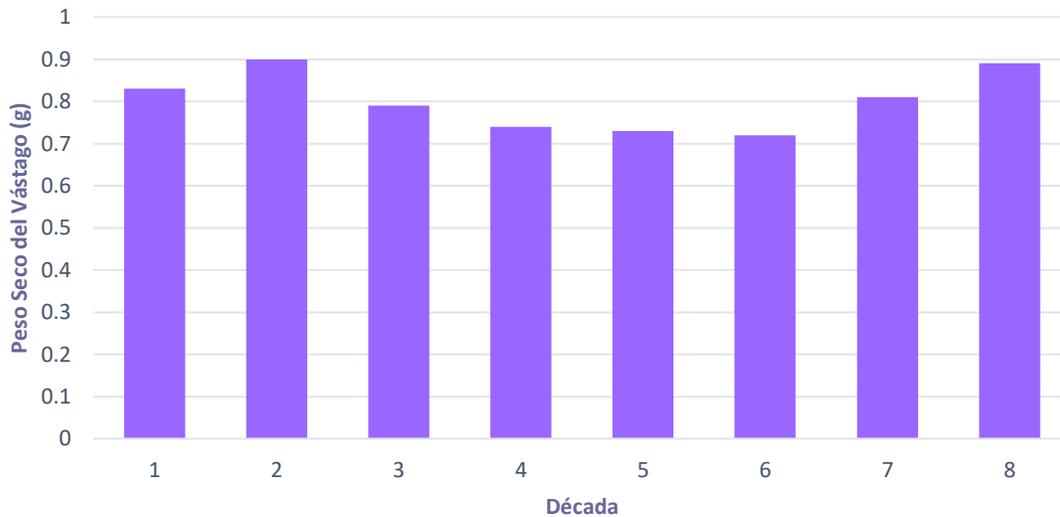


Figura 19. Comportamiento medio del Peso Seco del Vástago por Década en la Prueba de vigor con profundidad de siembra.

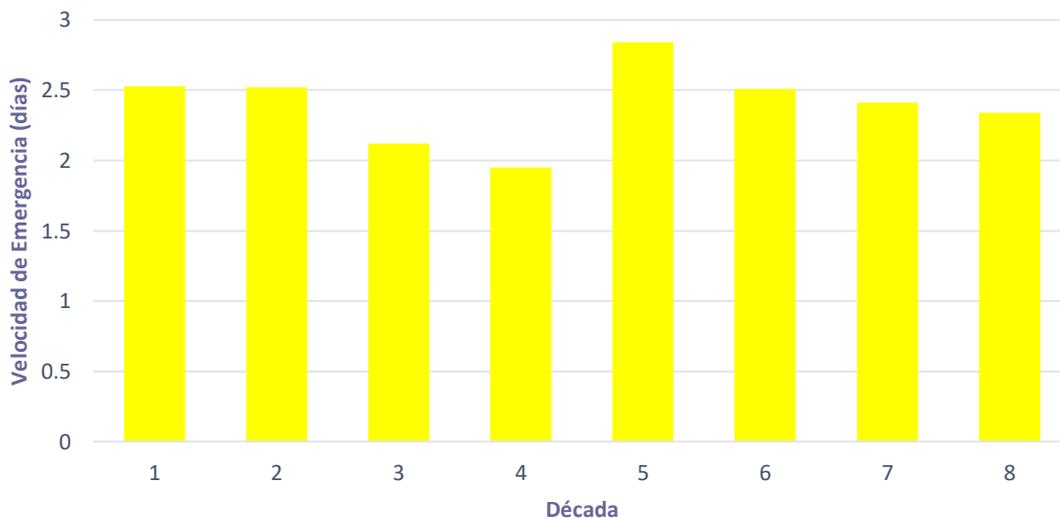


Figura 20. Comportamiento medio de la Velocidad de Emergencia por Década en la Prueba de vigor con profundidad de siembra.

4.2.3. Prueba de Salinidad

El análisis de varianza obtenido para la prueba de salinidad (Cuadro 24), muestra que los factores de variación Variedad, Ciclo, Tratamiento y la interacción Variedad x Ciclo presentaron diferencias altamente significativas para cada una de las variables evaluadas.

El factor de interacción Variedad x Tratamiento presentó diferencias altamente significativas para las variables PS, LV, PSV, LR y PSR, y solamente diferencias significativas para el resto de las variables evaluadas. Mientras que la triple interacción Variedad x Ciclo x Tratamiento sólo presentó diferencias altamente significativas para las variables PSV y LR, diferencias significativas para PSR y no hubo diferencias significativas para el resto de las variables.

En el Cuadro 25 se presenta el comportamiento medio de cada una de las variedades considerando las variables evaluadas en la PS. Para la variable PV todas las variedades obtuvieron un valor por arriba del 90%, lo cual es aceptable de acuerdo a las reglas del SNICS (2020), y coincide con lo señalado por Soltani *et al.* (2004), quienes en su estudio afirman que el estrés salino no tiene efecto sobre el número de plántulas normales, longitud de los brotes, longitud de las raíces y peso seco de las plántulas, además de obtener un porcentaje de viabilidad aceptable (superior al 90%).

Para la variable LR, la variedad Candeal 48 presentó el mayor valor comparado con el resto de las variedades. Neumann (1995) afirma que el estrés salino tiene un impacto negativo en la tasa de crecimiento de las raíces en trigo, mientras que Ejaz *et al.* (2020) destacan que algunas variedades de trigo son más adaptables que otras y pueden sobrevivir en altas concentraciones de sal.

Cuadro 24. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de salinidad de 24 variedades de trigo.

FV	GL	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	LR	PSR
Repeticiones	3	25.34 ns	8.70 ns	4.51 ns	4.51 ns	55.01 **	0.34 **	9.47 *	0.04 **
Tratamientos	1	759.37 **	121.50 **	273.37 **	273.37 **	1311.42 **	6.40 **	664.86 **	0.21 **
Variedades	23	171.54 **	70.93 **	42.90 **	42.90 **	49.53 **	0.11 **	20.12 **	0.05 **
Ciclo	1	3601.50 **	65.01 **	2698.76 **	2698.76 **	389.74 **	1.49 **	404.09 **	0.58 **
Var x Ciclo	23	87.60 **	36.76 **	28.06 **	28.06 **	5.00 **	0.03 **	11.10 **	0.01 **
Var x Trat	23	19.75 *	13.62 **	7.90 *	7.90 *	3.08 **	0.03 **	8.94 **	0.006 **
Ciclo x Trat	1	13.50 ns	20.16 *	66.66 **	66.66 **	0.005 ns	0.17 **	112.97 **	0.0001 ns
Var x Ciclo x Trat	23	9.01 ns	5.04 ns	3.40 ns	3.40 ns	1.50 ns	0.01 **	5.52 **	0.003 *
Error	285	12.30	7.20	4.86	4.86	1.26	0.008	1.88	0.002
Total	383								
R²		0.75	0.60	0.78	0.78	0.89	0.85	0.80	0.79
C.V. (%)		3.80	78.46	50.13	2.30	8.36	10.52	20.61	10.33
Media		92.17	3.42	4.40	95.59	13.45	0.85	6.65	0.48

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, LR= longitud de raíz, PSR= Peso seco de la raíz, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *=significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo.

Cuadro 25. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de Salinidad de 24 variedades de trigo.

Variedad	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	LR	PSR
Kentana 48	96.06 a	1.81 d	2.12 e	97.87 a	16.07 b	0.98 ab	7.87 abc	0.49 bcdef
Tesia F79	95.68 ab	1.68 d	2.62 de	97.37 ab	11.76 hij	0.85 defg	6.92 abcde	0.47 defg
Tobari F66	94.87 abc	1.81 d	3.31 cde	96.68 abc	14.17 cd	0.80 efghi	7.64 abc	0.47 efg
Siete Cerros T66	94.68 abc	2.12 cd	3.18 cde	96.81 abc	13.59 cdef	0.87 bcdefg	6.61 bcde	0.53 abcde
Imuris T79	94.37 abc	2.37 cd	3.25 cde	96.75 abc	11.92 ghij	0.85 defg	7.03 abcde	0.55 abc
Ciano F67	94.31 abc	2.43 cd	3.25 cde	96.75 abc	14.27 c	0.83 efg	7.32 abcde	0.46 fgh
Mexe 53	94.00 abc	3.37 cd	2.62 de	97.37 ab	13.54 cdef	0.90 abcdef	7.87 abc	0.49 cdefg
Tacupeto F2001	93.81 abc	2.93 cd	3.25 cde	96.75 abc	13.76 cdf	0.98 abc	6.67 bcde	0.55 ab
Borlaug 100 F2014	93.18 abc	3.68 bcd	3.12 cde	96.87 abc	12.89 cdefgh	0.95 abcd	5.66 efgh	0.56 ab
Ópata M85	93.06 abc	2.75 cd	4.18 cde	95.81 abc	12.81 defgh	0.87 bcdefg	7.50 abcd	0.48 defg
Baviácora M92	92.62 abc	2.56 cd	4.81 bcde	95.18 abcd	13.00 cdefgh	0.92 abcde	6.39 bcdefg	0.52 abcde
Seri M82	92.62 abc	3.31 cd	4.06 cde	95.93 abc	13.37 cdefg	0.83 efgh	6.91 abcde	0.54 abc
INIFAP M97	92.56 abc	1.68 d	5.75 bc	94.25 cd	12.33 efghij	0.87 cdefg	7.56 abcd	0.58 a
Bajío 53	92.50 abc	1.56 d	5.93 bc	94.06 cd	17.68 a	0.96 abcd	5.85 defg	0.45 fghi
Kronstad F2004	92.43 abcd	3.25 cd	4.31 cde	95.68 abc	12.38 efghi	0.77 ghi	4.80 fgh	0.37 j
Chapingo 53	92.00 abcd	3.68 bcd	4.31 cde	95.68 abc	16.41 ab	1.01 a	6.54 bcdef	0.48 defg
Borlaug M95	91.43 bcd	4.75 bcd	3.81 cde	96.18 abc	10.91 j	0.76 ghi	6.15 cdefg	0.44 fghij
Bacanora T88	91.25 bcd	3.25 cd	5.50 bc	94.50 cd	13.14 cdefgh	0.79 fghi	6.68 bcde	0.43 fghij
Ciano T79	91.06 cd	3.50 cd	5.43 bcd	94.56 bcd	12.02 ghij	0.77 ghi	8.14 ab	0.44 fghij
Chapingo 48	90.93 cd	3.62 bcd	5.43 bcd	94.56 bcd	14.33 c	0.78 fghi	6.76 abcde	0.43 ghij
Conatrigo F2015	90.93 cd	5.43 bc	3.62 cde	96.37 abc	11.38 ij	0.82 efghi	5.62 efgh	0.54 abcd
Candeal 48	90.37 d	2.18 cd	7.43 ab	92.56 de	16.74 ab	0.71 hi	8.48 a	0.39 hij
Bacorehuis F2015	87.93 d	7.06 b	5.00 bcd	95.00 bcd	12.08 ghij	0.83 efghi	4.70 gh	0.44 fghi
Roelfs F2007	79.50 e	11.25 a	9.25 a	90.75 e	12.29 fghij	0.71 i	4.02 h	0.39 ij

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, LR= longitud de raíz, PSR= peso seco de la raíz. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En la Figura 21, se observa el resultado promedio para la variable PG de cada una de las variedades bajo la prueba de vigor con estrés salino; Kentana 48 presentó el valor más alto respecto al resto de las variedades; Farooq *et al.* (2009) señalan que la germinación de las semillas es la etapa de crecimiento de las plantas más vulnerable que se ve afectada por el estrés salino. Dado a lo anterior y de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación solo Roelfs F2007 fue la variedad que obtuvo las medias más bajas en esta prueba.

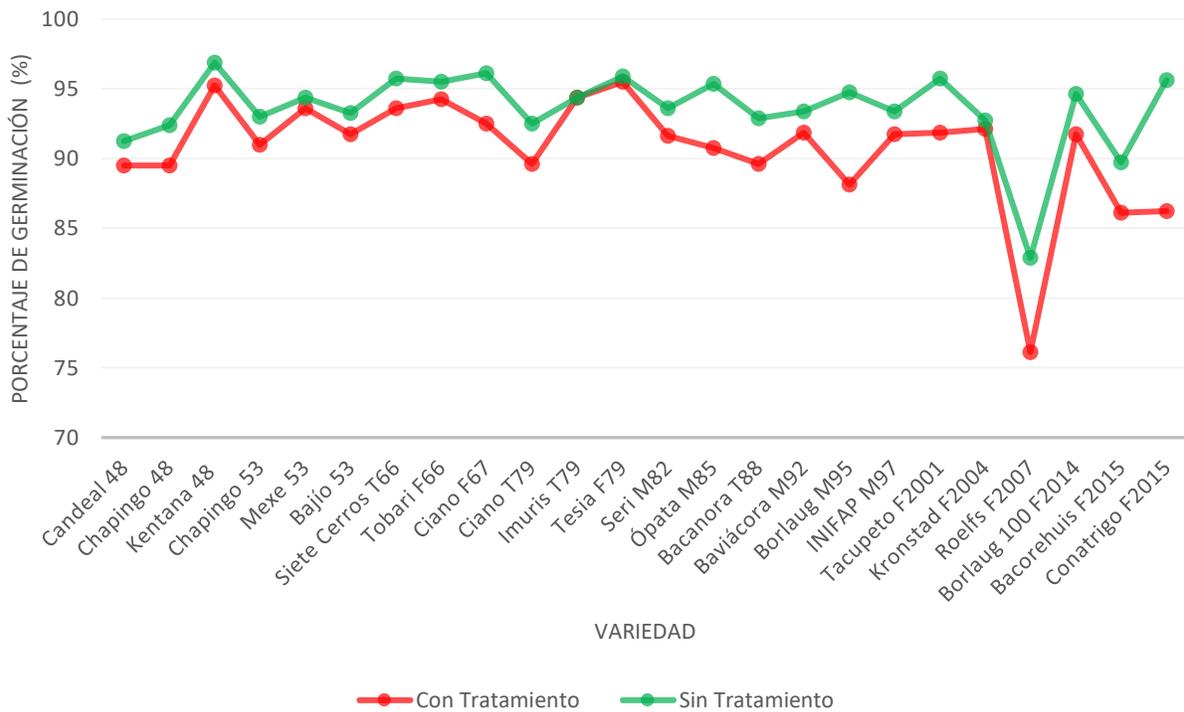


Figura 21. Comportamiento medio del PG de las 24 variedades evaluadas con y sin tratamiento de salinidad.

Al correlacionar estadísticamente las medias de las variables evaluadas en la PS (Cuadro 26), se observa que la variable PG tuvo asociación altamente significativa con PV, LV, PSV y PSR, y asociación negativa con PA y SG.

La variable PA tuvo asociación altamente significativa con las variables SG y PV, mientras que mostró una asociación negativa con el resto de las variables. Por otro lado, SG no presentó asociación significativa con ninguna de las demás variables.

La variable PV, LV, PSV y LR tuvieron una asociación altamente significativa con el resto de las variables, lo cual es lógico ya que, al haber una longitud de plántula mayor, habrá más acumulación de materia seca en ambas partes (aérea y raíz). Bustamante (2010) encontró en su estudio de calidad fisiológica de maíz correlaciones estadísticamente significativas entre las variables Longitud de Mesocótilo y Peso seco de la Parte Aérea (0.83).

Cuadro 26. Matriz de correlaciones de variables evaluadas en la Prueba de Salinidad.

	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	LR	PSR
PG	1.00	-0.7723**	-0.8179**	0.8179**	0.3842**	0.5364**	0.5459 ns	0.6079**
PA		1.00	0.2662**	0.2662**	-0.2938**	-0.3624**	-0.4479**	-0.4088**
SG			1.00	-1.00**	-0.3169**	-0.4857**	-0.4226**	-0.5521**
PV				1.00	0.3169**	0.4857**	0.4226**	0.5521**
LV					1.00	0.7233**	0.5994**	0.3290**
PSV						1.00	0.5221**	0.6577**
LR							1.00	0.5571**
PSR								1.00

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, LR= longitud de raíz, PSR= peso seco de la raíz. **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *=significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo.

En el Cuadro 27 se presenta el análisis de varianza obtenido en la prueba de salinidad para Décadas; se observa que los factores Décadas, Ciclo y Tratamiento obtuvieron diferencias altamente significativas para todas las variables. Por otro lado, la interacción Década x Ciclo obtuvo diferencias significativas en las variables PSV y PSR, mientras que en el resto de las variables se obtuvieron diferencias altamente significativas. Las interacciones Década x Tratamiento y Ciclo x Tratamiento solamente presentaron diferencias altamente significativas en las variables PSV y LR. La interacción triple Década x Ciclo x Tratamiento únicamente presentó diferencia significativa para la variable LR.

Cuadro 27. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en la Prueba de Salinidad considerando Décadas.

FV	GL	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	LR	PSR
Repeticiones	3	25.34 ns	8.70 ns	4.51 ns	4.51 ns	55.01 **	0.34 **	9.47 *	0.04 **
Tratamientos	1	759.37 **	121.50 **	273.37 **	273.37 **	1311.42 **	6.40 **	664.86 **	0.21 **
Décadas	7	164.57 **	92.28 **	27.15 **	27.15 **	123.09 **	0.09 **	41.27 **	0.03 **
Ciclo	1	3601.50 **	65.01 **	2698.76 **	2698.76 **	389.74 **	1.49 **	404.09 **	0.58 **
Dec x Ciclo	7	136.82 **	53.41 **	26.50 **	26.50 **	9.61 **	0.04 *	22.28 **	0.01 *
Dec x Trat	7	22.53 ns	7.52 ns	7.21 ns	7.21 ns	3.22 ns	0.06 **	13.76 **	0.006 ns
Ciclo x Trat	1	13.50 ns	20.16 ns	66.66 *	66.66 *	0.005 ns	0.17 **	112.97 **	0.0001 ns
Dec x Ciclo x Trat	7	13.14 ns	7.82 ns	5.87 ns	5.87 ns	1.15 ns	0.02 ns	6.13 *	0.006 ns
Error	349	22.26	10.98	8.05	8.05	2.18	0.014	2.87	0.005
Total	383								
R²		0.46	0.26	0.55	0.55	0.78	0.67	0.64	0.41
C.V. (%)		5.11	96.85	64.50	2.96	10.97	14.16	25.47	15.66
Media		92.17	3.42	4.40	95.59	13.45	0.85	6.56	0.48

FV= Fuente de Variación, GL= Grados de libertad, PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, LR= longitud de raíz, PSR= peso seco de raíz, **=altamente significativo al 0.001 de probabilidad, *=significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo.

En el Cuadro 28 se aprecia la comparación de medias de cada una de las variables evaluadas en la PS por Década. La década 3 presentó el valor más alto para PG y PV, mientras que la década 7 obtuvo el valor más bajo para las mismas variables y para PA, SG, PSV, LR y PSR. Por otro lado, la década 2 presenta el valor máximo para LV y PSV.

Una alta salinidad afecta el desarrollo de la planta y conduce a un crecimiento deficiente (Hasan *et al.*, 2020), por lo cual una tasa alta de germinación bajo estas condiciones permite enfocar la investigación hacia la generación de variedades tolerantes a la salinidad; Colmer *et al.* (2005) consideran que rasgos como eficiencia en el uso del agua, patrones osmóticos y genotipos con floraciones más tempranas se pueden utilizar para desarrollar líneas de trigo tolerantes a salinidad.

Cuadro 28. Comparación de medias de las variables evaluadas en la Prueba de Salinidad considerando Décadas.

Década	PG	PA	SG	PV	LV	PSV	LR	PSR
1	92.45 ab	2.54 b	5.00 ab	95.00 ab	15.71 a	0.83 b	7.70 a	0.44 b
2	92.83 ab	2.87 b	4.29 ab	95.70 ab	15.88 a	0.96 a	6.75 a	0.47 ab
3	94.62 a	2.12 b	3.25 b	96.75 a	14.01 b	0.83 b	7.19 a	0.49 a
4	93.70 a	2.52 b	3.77 b	96.22 a	11.90 d	0.83 b	7.36 a	0.48 ab
5	92.31 ab	3.10 b	4.58 ab	95.41 ab	13.11 bc	0.83 b	7.03 a	0.48 ab
6	92.20 ab	3.00 b	4.79 ab	95.20 ab	12.08 d	0.85 b	6.70 a	0.51 a
7	88.58 c	5.81 a	5.60 a	94.39 b	12.81 cd	0.82 b	5.17 b	0.44 b
8	90.68 bc	5.39 a	3.91 ab	96.08 ab	12.11 d	0.87 b	5.32 b	0.51 a

PG= porcentaje de germinación, PA= porcentaje de plántulas anormales, SG= porcentaje de semillas sin germinar, PV= porcentaje de viabilidad, LV= longitud del vástago, PSV= peso seco del vástago, LR= longitud de raíz, PSR= peso seco de la raíz. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

A pesar de que el trigo es un cultivo moderadamente tolerante a la sal (Maas y Hoffman, 1977) y que expresa diferencia genotípica significativa para la tolerancia salina (Saqib *et al.*, 2005), se sugiere que haya un mejoramiento genético orientado hacia este aspecto debido a que el 50% de las tierras de cultivo en el mundo se ven afectadas por estrés salino (Munns, 2008) y para el año 2050 la demanda de este cultivo estima un aumento de 60% (Tadesse, 2017).

Como se observa en la Figura 22, el PG ha disminuido a través del tiempo, probablemente porque éste no es un parámetro en el cual se enfoquen actualmente los programas de mejoramiento; ambos

resultados (con y sin tratamiento) siguen la misma tendencia a la baja, en donde las variedades que conforman a la Década 7 mostraron los valores más bajos.

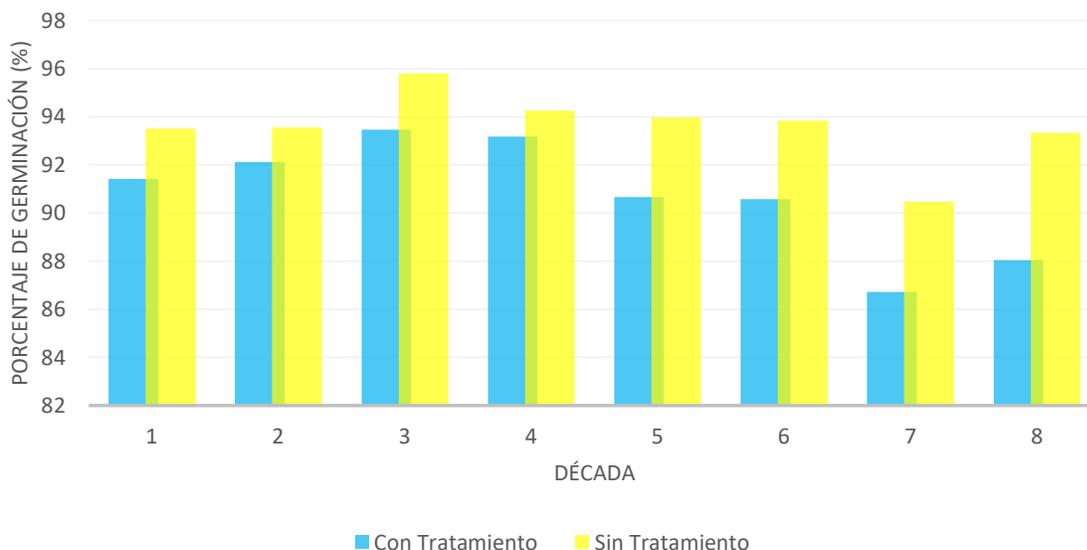


Figura 22. Comportamiento medio de la variable Porcentaje de Germinación en la prueba de salinidad considerando Décadas.

La Figura 23 presenta la variable PSV, la cual ha mostrado disminución a través del tiempo con tratamiento de salinidad. Este parámetro forma parte de los componentes del rendimiento del cual los programas de mejoramiento actuales no se han orientado. Los resultados obtenidos en la presente investigación para la prueba de salinidad, coinciden con lo reportado por Munns *et al.* (2006), quienes al evaluar peso de materia seca bajo prueba de salinidad, mencionan que los genotipos de trigo con alto contenido de Na^+ producen un peso seco bajo comparado con el trigo con bajo contenido de Na^+ . Asimismo, El-Hendawy *et al.* (2005) sostienen que el estrés salino tiene impacto negativo en el rendimiento de materia seca total del trigo.

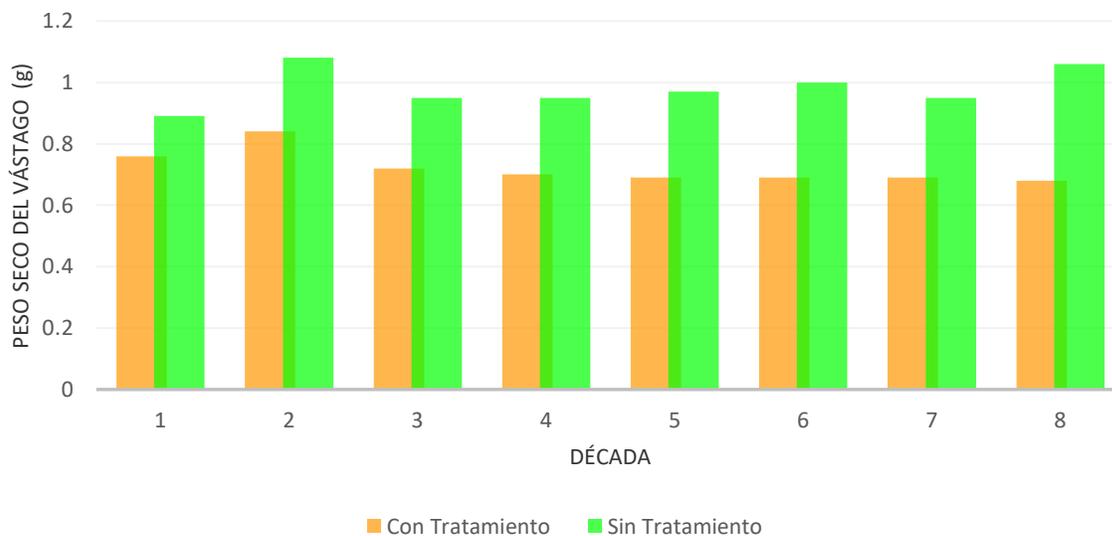


Figura 23. Comportamiento medio de la variable Peso Seco del Vástago en la prueba de salinidad considerando Décadas.

Para la variable LR (Figura 24), se observa una disminución a través del tiempo para ambos tratamientos. Este parámetro es parte de los componentes del rendimiento, motivo por el cual se le debería considerar dentro de los programas de mejoramiento genético. Los resultados alcanzados en la presente investigación concuerdan con lo que expresa Shafi *et al.* (2010) al indicar que hay una influencia significativa del estrés salino en la reducción del diámetro y longitud de las raíces de trigo, así como de otras especies de gramíneas. Asimismo, la información disponible sobre la reacción de los sistemas radiculares bajo estrés salino es muy inferior a la de los órganos aéreos debido a la dificultad de observación de las raíces durante el ciclo de vida de las plantas (Rewald *et al.*, 2013).

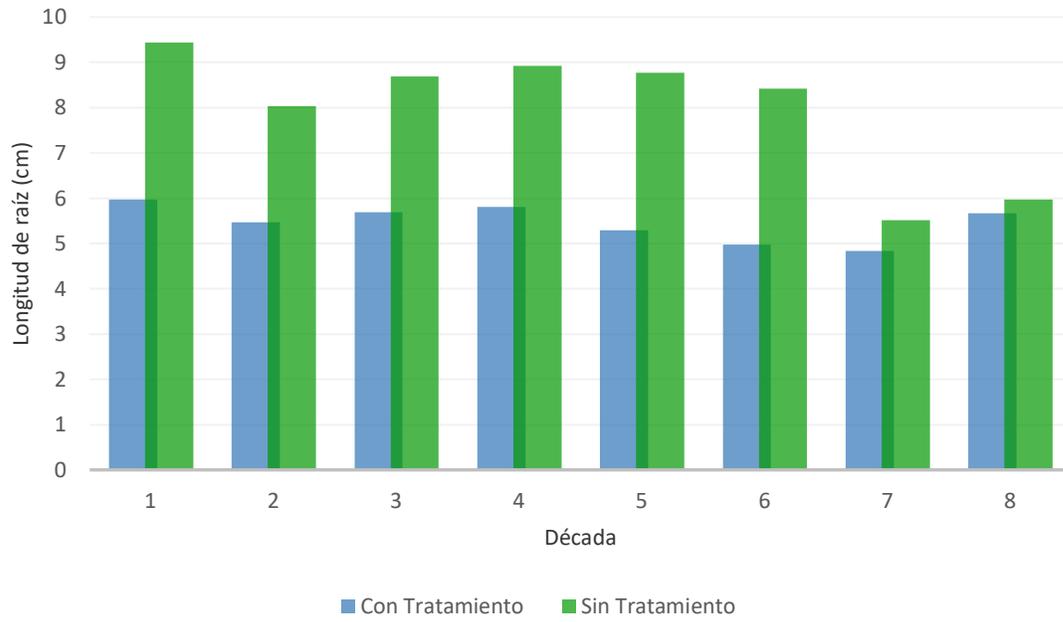


Figura 24. Comportamiento medio de la variable Longitud de raíz en la Prueba de salinidad considerando Décadas.

V. DISCUSIÓN GENERAL

El mejoramiento genético de trigo en México ha generado más de 250 variedades con un progreso genético en el rendimiento de grano, ubicándolo como uno de los más exitosos en el mundo. En la presente investigación, la prueba de calidad física de semilla, arrojó información que permitió concluir que además ha logrado obtener variedades con mejoras en el peso de mil semillas, variable que se ve reflejada en la mayor productividad y que ha sido un criterio importante de selección.

Las pruebas de vigor y de salinidad no reportaron información contundente, como lo fue en el peso de mil semillas, ya que las variables cuantificadas en estas pruebas no han sido sujetas a la selección en el mejoramiento genético de trigo en México.

Es imprescindible señalar que algunas de las primeras variedades liberadas en México expresan características importantes en la calidad fisiológica de la semilla, como por ejemplo, en el peso seco del vástago Kentana 48 (1.01 g) superó significativamente a Borlaug 100 (0.91 g), lo que apoya la conveniencia de incorporar como criterios de selección a las variables involucradas con la calidad fisiológica, ya que permitirá mejorar significativamente la calidad de la semilla con miras a un mejor establecimiento y mayor productividad.

Con lo anterior, se puede abrir un panorama que permita ampliar los objetivos de los programas de Mejoramiento Genético, con la finalidad de obtener genotipos con mejor calidad física y fisiológica de la semilla dirigidos a las necesidades de las diferentes áreas productoras del país.

VI. CONCLUSIONES

1. El mejoramiento genético de trigo en México ha tenido impacto de manera positiva y significativa en el Peso de Mil Semillas, variable que está altamente ligada con el rendimiento de grano.
2. El Peso Volumétrico de la semilla también se ha incrementado por el mejoramiento genético; sin embargo, la tendencia no es tan significativa como el Peso de Mil Semillas.
3. Variedades generadas en la última década (Borlaug 100 F2014, Bacorehuis F2015 y Conatrigo F2015) presentaron mayor Peso de Mil Semillas, por lo que se sugiere su uso como progenitores en el mejoramiento genético para continuar con el incremento en el Peso de Mil Semillas a favor de un mayor rendimiento de grano.
4. La prueba estándar de germinación permitió discriminar a las variedades y estimar cuales mostraron mejores atributos, sin embargo, no se detectó tendencia alguna producto del mejoramiento genético.
5. Las variedades pertenecientes a la última década tuvieron buen comportamiento a la prueba de vigor con profundidad de siembra, ya que arrojaron datos favorables para la mayoría de las variables respuesta.
6. Todas las variedades presentaron cierto grado de tolerancia al medio salino, ya que hubo buen desarrollo inicial; sin embargo, es posible observar diferencias aún más significativas con una concentración más alta de solución, sobretodo, para detectar algún efecto del mejoramiento genético.

VII. LITERATURA CITADA

- Acevedo, E., Silva, P., Silva, H. 2002. Wheat growth and physiology. Bread wheat, improvement and production, 30, 39-70.
- Acuayte, V. E. 2017. Hongos asociados a pérdidas de rendimiento y calidad de semillas de variedades de trigo en Valles Altos Centrales de México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. 101 p.
- Ayuob, M., Symons, S., Edney, M., Mather, D. 2002. QTLs affecting kernel size and shape in a two-rowed by six-rowed barley cross. *Theor Appl Genet* 105: 237-247.
- Bazzaz, M.M., Hossain, A., Timsina, J., da Silva, J. A. T., Nuruzzaman, M. 2018. Growth, yield attributes and yield of irrigated spring wheat as influenced by sowing depth. *Open Agriculture*, 3(1), 72-83.
- Bewley J. D., M. Black and P. Halmer. 2006. *The Encyclopedia of Seeds: Science, Technology and Uses*. CABI International Publishing. Wallingford, U. K. 828 p.
- Bishaw Z., A. A. Niane and Y. Gan. 2007. Quality seed production. In: *Lentil. An Ancient Crop for Modern Times*. S. S. Yadav, D. McNeil and P. C. Stevenson (eds.). Springer. Dordrecht. The Netherlands. pp:349-383.
- Bringel, J. M.M., Moraes, M. H. D., Menten, J. O. M., Bedendo, I. P. 2001. Qualidade sanitaria e fisiologica de Sementes de soja produzidas na Regia de Balsa, Maranhao. *Summa Phytopathologica, Jaboticabal* 27(4): 438-441.
- Bustamante, Z. J. E. 2010. Calidad física y fisiológica en semillas de híbridos de maíz en los Valles Altos Centrales de México y su relación con el establecimiento en campo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 108 p.
- Castañeda, S. M. C., López, C. C., Colinas, L. M. T. B., Molina, M. J. C., Hernández, L. A. 2009. Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia*, 34(4), 286-292. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911575011>
- Christopoulos, M. V., Ouzounidou, G. 2020. Climate change leading to postharvest losses in bread wheat. In: *Climate Change and Food Security with Emphasis on Wheat* (pp. 257-264). Academic Press.
- Colmer, T. D., Munns, R., Flowers, T. J. 2005. Improving salt tolerance of wheat and barley: future prospects. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45(11), 1425-1443. ISSN 0045-060X.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. CONABIO. Enciclovida. Nombre común Trigo harinero. Nombre de la especie *Triticum aestivum*

Consultado: miércoles, 07 de octubre de 2020. <https://enciclovida.mx/especies/172726-triticum-aestivum>

- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 2001. Principles of seed Science and Technology. 4th Klower Academic Publisher, E. U. A. 467 p.
- Córdoba-Téllez, L., Caballero, G. M. A., Hernández, N. N. Y., Ríos, S. E. 2019. Boletín Informativo de Producción de Semilla Calificada por el SNICS. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México. 96 pp.
- Costa P. S. C. E M. L. M. de Carvalho. 2006. Teste de conductividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.). Ciência e Agrotecnologia 30:92-96, <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100013>
- Courbineau F. 2012. Markers of seed quality: from present to future. Seed Science Research 22:S61-S68, <https://doi.org/10.1017/S0960258511000419>
- Delouche, J. C. 1980. Environmental effects on seed development and seed quality. Hort. Sci. 15:775-780.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos tropicales. 31(1):74-85.
- Dubcovsky, J., Dvorak, J. 2007. Genome plasticity a key factor in the success of polyploidy wheat under domestication. Science 316, 1862–1866.
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., Gaston, K. J., & Leake, J. R. 2014. Urban cultivation in allotments maintains soil qualities adversely affected by conventional agriculture. Journal of Applied Ecology, 51, 880–889.
- Ejaz, M., Ali, M., Hasan, H., Khan, S. U., Lal, A., Qazi, N. U., Shafique, A., Dar, H., Gul, A. 2020. Salt-regulation genes in wheat. *In: Climate Change and Food Security with Emphasis on Wheat* (pp. 77-91). Academic Press.
- El-Hendawy, S. E., Hu, Y., Yakout, G. M., Awad, A. M., Hafiz, S. E., Schmidhalter, U. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. European journal of agronomy, 22(3), 243-253.
- Ellis, R. H. 1992. Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. Plant Growth Reg. 11:249-255.
- Escobar, R. 2014. El cultivo de secano. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco. México.
- Faltermaier, A., Waters, D., Becker, T., Arendt, E., Gastl, M. 2014. Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal: A review. Journal of the Institute of Brewing, 120: 1-15. <http://doi.org/10.1002/jib.107>

- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: Sustainable Agriculture. Springer.
- FAO. 2020. FAOSTAT Database. Rome, Italy. FAO. Consultado mayo 2021. Disponible en <http://www.fao.org/faostat>
- FAO y AfricaSeeds. 2019. Materiales para capacitación en semillas- Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas. Roma, Italia.
- FAO. 1984. Irrigation practice and water management. L. D. Doneen and D. W. Westcot. Irrigation and drainage paper 1 Rev. FAO, Rome.
- Feekes, W. 1941. El trigo y su entorno. Verso XVII Tech. Trigo Comm., Groningen, 12: 523-888.
- Feldman M. 2001. Origin of cultivated wheat. In: Bonjean AP, Angus WJ, eds. The world wheat book: a history of wheat breeding. Paris, France: Lavoisier Publishing, 3-56.
- Fernández, S. R., Carballo, C. A., Villaseñor, M. H. E., Hernández, L. A. 2015. Calidad de la semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(6), 1239-1251. Recuperado en 1 de agosto de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000600008&lng=es&tlng=es.
- FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2015. Panorama Agroalimentario. Trigo 2015. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, FIRA Banco de México. México, D.F. 41 p.
- García-Rodríguez J. J., M. A. Ávila-Perches, F. P. Gámez-Vázquez, M. de la O-Olán y A. J. Gámez-Vázquez. 2018. Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. Revista Fitotecnia Mexicana 41:31-37.
- Goggi A. S., P. Caragea, L. Pollak, G. McAndrews, M. DeVries and K. Montgomery. 2008. Seed quality assurance in maize breeding programs: tests to explain variations in maize inbreds and populations. Agronomy Journal 100:337-343, <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0151>
- González, A., Pérez, D. J., Sahagún, J., Franco, O., Morales, E. J., Rubí, M., Gutiérrez, F., Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle de Toluca Atlacomulco, México. Agronomía Costarricense 34: 129-143.
- Guan Y. J., M. Q. Yin, X. W. Jia, J. Y. An, C. Wang, R. H. Pan, W. J. Song and J. Hu. 2018. Single counts of radicle emergence can be used as a vigour test predict seedling emergence potential of wheat. Seeds Science and Tecnology 46:349-357, <https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.2.15>

- Gutiérrez, G. A. S., Carballo, C. A., Mejía, C. J. A., Vargas, H. M., Trethowan, R., Villaseñor, M. H. E. 2006. Caracterización de trigos harineros mediante parámetros de calidad física y fisiológica de la semilla. *Agricultura técnica en México*, 32(1), 45-55. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000100005&lng=es&tlng=es.
- Guzmán, C., Mondal, S., Govindan, V., Autrique, J. E., Posadas, R. G., Cervantes, F., Crossa, J., Vargas, M., Singh, R. P. Peña, R. J. 2016. Use of rapid test to predict quality traits of CIMMYT bread wheat genotypes grown under different environments. *LWT- Food Science and Technology*, 69, 327-333.
- Hall, R. G. 2012. Spring wheat planting guide-seedling depth, in: Clay, D. E., Carlson, C. G., Dalsted, K. (Eds.). *Grow Wheat: Best Management Practices for Wheat Production*. Published by South Dakota State University, College of Agriculture and Biological Sciences, Box 2208, Brookings, SD 57 007. 50 p. <http://igrow.org/up/resources/05-1001-05-2012.pdf>
- Hasan, H., Ali, M., Javaid, A., Liaqat, A., Hussain, S., Siddique, R., Fayaz, T., Gul, A. 2020. Cellular mechanism of salinity tolerance in wheat. In *Climate Change and Food Security with Emphasis on Wheat* (pp. 55-76). Academic Press.
- Heun, M., Schäfer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B., Salamini, F. 1997. Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science* 278, 1312–1314.
- Huerta, E. J., Villaseñor, M. H. E., Espitia, R. E., Solís, M. E., Van Ginkel, M. 2011. The history of wheat breeding in México. Chapter 12. *In: Angus, W., Bonjean, A., Van Ginkel G. World Wheat Book 2, Vol. 2: A History of Wheat Breeding*. Lavoisier. pp 275-308.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2002. *International Rules for Seed Testing*. Seed Science Technology; 37(Suppl.):54-59.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2013. *International Rules for Seed Testing*. Published by The International Seed Testing Association. P. O. BOX 308, 8303. Bassersdorf, CH- Switzerland. 243 p.
- ISTA. 2005. *ISTA handbook on seed sampling* (2nd ed.). Bassersdorf, Switzerland.
- ISTA, International Seeds Testing Association. 2015. *International Rules for Seed Testing. Introduction to the ISTA rules*. International Seeds Testing Association. Zurich, Switzerland. pp: i-I-6, <https://doi.org/10.15258/istarules.2015.i>
- Jiang, J., Zhao, S., Kong, X., Li, Y., Zhao, G., He, W., Appels, R., Pfeifer, M., Tao, Y., Zhang, X. Jing, R. 2014. *Aegilops tauschii* draft genome sequence reveals a gene repertoire for wheat adaptation. *Nature*. 496(7443), pp. 91-95.

- Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L. D. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant Cell and Environment*, 33, 926-942.
- Khan, A. Z., Shah, P., Mohd, F., Khan, H., Amanulla, S., Perveen, S., Nigar, S., Khalil, K., Zubari, M. 2010. Vigor test used to rank seed lot quality and predict field emergence in wheat. *Pakistan Journal of Botany* 42: 3147-3155.
- Liu, H., Zhang, X., Xu, Y., Ma, F., Zhang, J., Cao, Y., Li, L., An, D. 2020. Identification and validation of quantitative trait loci for kernel traits in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Plant Biology*, 20(1), 1-15.
- Maas, E. V., Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 103, 115-134.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop. Sci.*, 2, 176-177.
- Marcos, F. J. 1994. Utilização de testes de vigor em programas de qualidade de sementes. *Informativo Abrates, Londrina*. 4(2): 33-35.
- Marcos-Filho, J. M. 2005. *Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas*. Fundacao de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz". Piracicaba, Brasil. 495 p.
- McDonald, Dr. M. B. 1985. Physical seed quality of soybean. *Seed Sci. Technol.* 13:601-628.
- Mitchell, B., M. Black, and J. M. Chapman. 1980. Drying and the onset of germinability in developing wheat grains. *Cereal Res. Comm.* 8: 151-156.
- Munamava, M. R., Goggi, A. S., Pollak, L. 2004. Seed quality of maize inbred lines with different composition and genetic backgrounds. *Crop Science*, 44(2), 542.
- Munns, R., James, R. A., Läuchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1025-1043.
- Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651-681.
- Nesbitt M. 1998. Where was einkorn wheat domesticated? *Trends in Plant Science* 3, 1360–1385.
- Neumann, P. M. 1995. The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. *Crop Science* 35, 1258-1266.
- Nordby, D. 2004. *Pocket guide to crop development: illustrated growth timelines for corn, sorghum, soybean, and wheat*. University of Illinois Extension Service, Urbana, IL.

- Noriega, C. M. A., Cervantes, O. F., Solís, M. E., Andrio, E. E., Rangel, L. J. A., Rodríguez, P. G., Mendoza, E. M., García, R. J. G. 2019. Efecto de la fecha de siembra sobre la calidad de semilla de trigo en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 42(4), 375-384. Epub 16 de octubre de 2020. Recuperado en 10 de febrero de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000400375&lng=es&tlng=es.
- Nyachiro, J. M., Clarke, F. R., DePauw, R. M., Knox, R. E., Armstrong, K. C. 2002. Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat. *Euphytica*, 126(1), 123-127.
- NZFMA, New Zealand Flour Millers Association. 2017. Wheat - The Structure & Physical Characteristics [Online] Available at: <http://www.flourinfo.co.nz/nzfma-knowledgebase/wheat/wheat-the-structure-a-physical-characteristics> [Accessed 20 August 2020].
- Osborne, B. G., Anderssen, R. S. 2003. Single-kernel characterization principles and applications. *Cereal Chem J.* 80: 613-622.
- Paquini, R. S. L., Benítez, R. I., Villaseñor, M. H. E., Muñoz, O. A., Vaquera, H. H. 2016. Incremento en el rendimiento y sus componentes bajo riego normal y restringido de variedades mexicanas de trigo. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(4), 367-378.
- Paulsen, G. M., Shroyer, J. P., & Shroyer, K. J. 2016. Wheat: agronomy in: *Encyclopedia of Food Grains 2nd Edition*. Academic Press. 4: 176–185.
- Peña, R. J., González, S. H., Cervantes, F. 2004. Relationship between Glu-D1/Glu-B3 allelic combinations and bread-making quality-related parameters commonly used in wheat breeding. *In: Masci, S. and Lafiandra, D. (Eds.). Proceedings of the 8th gluten workshop*. Vitervo. 156-157 pp.
- PROY-NMX-FF-036-SCFI-2019. Productos alimenticios no industrializados, cereales, trigo (*Triticum aestivum* L y *Triticum durum*), especificaciones y métodos de prueba.
- Qin, X., Zhang, F., Liu, C., Yu, H., Cao, B., Tian, S., Liai, Y., Siddique, K. H. 2015. Wheat yield improvement in China: Past trends and future directions. *Field Crops Research*, 177., 117-124.
- Rajjou, L., M. Duval., K, Gallardo., J, Catusse., J, Bally., C, Job and D. Job. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology*. 63: 507-533, <http://dx.Doi.org/10.1146/annurev-ar-plant-042811-105550>.
- Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E. 2005. *Biology of plants*. Macmillan.
- Rawson, H. M., Macpherson, H. G. 2001. Trigo regado: manejo del cultivo (No. Sirsi) i9789253044887). FAO.

- Rewald, B., Shelef, O., Ephrath, J. E., Rachmilevitch, S. 2013. Adaptive plasticity of salt-stressed root systems. Chapter 6. In: Ahmad, P., Azooz, M. M., Prasad, M. N. V. Ecophysiology and responses of plants under salt stress. Springer, New York, pp 169-202. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747-4-6>
- Rodríguez, G. R., Ponce, M. J. F., Rueda, P. E. O., Avendaño, R. L., Paz, H. J. J., Santillano, C. J., Cruz, V. M. 2011. Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B. C, México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 543-558.
- Russo, V. M., Bruton, B. D., Sams, C. E. 2010. Classification of temperature response in germination of Brassicas. *Industrial Crops and products*, 31(1), 48-51.
- Santillán, A. A. 2016. Optimización del rendimiento y de la calidad fisiológica en la producción de semilla híbrida de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 78 p.
- Saqib, M., C. Zorb, Z. Rengel and S. Schubert. 2005. Na⁺ exclusion and salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) are improved by the expression of endogenous vacuolar Na⁺/H⁺ antiporters in roots and shoots. *Plant Sci.* 169:959-965.
- Sayed, H. I., Ghandorah, M. O. 1984. Multivariate approach in search of traits for yield selection in wheat. *J. Coll Sci., King Saud University.* 15, 353-363.
- Schnyder, H. 1993. The role of carbohydrate storage and redistribution in the source -sink relations of wheat and barley during grain filling- a review. *New Phytology* 123: 233-245.
- Sehgal, D., Mondal, S., Guzmán, C., Barrios, G., Franco, C., Singh, R., Dreisigacker, S. 2019. Validation of candidate gene-based markers and identification of novel loci for thousand-grain weight in spring bread wheat. *Frontiers in plant science*, 20, 1189.
- Shafi, M., Gouping, Z., Bakht, J., Khan, M. A., Islam, E. U., Khan, M. D., Raziuddin, G. Z. 2010. Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. *Pak J Bot.* 42(4): 2747-2754.
- Sharififar, A., Nazari, M., & Asghari, H. R. 2015. Effect of ultrasonic waves on seed germination of *Atriplex lentiformis*, *Cuminum cyminum*, and *Zygophyllum eurypterum*. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(3), 102–104.
- Shewry, P. R. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537–1553. doi:10.1093/jxb/erp058
- Shroyer, J. P., Paulsen, G. M., & Shroyer, K. J. 2016. Wheat: agronomy in: *Encyclopedia of Food Grains* 2nd Edition. Academic Press. 4: 176–185.

- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2020. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. México, D. F. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Marzo 2020).
- Simmons, S. R., Oelke, E. A., Anderson, P. M. 1985. Growth and development guide for spring wheat. Agricultural Extension Service, University of Minnesota, AG-FO-2547. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Singh, R. P. and Rajaram, S. 1995. Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats. *Euphytica*, 72:1-7.
- Singh, R. P., Nelson, J. C., Sorells, M. E. 2000. Mapping *Yr28* and other genes for resistance to stripe rust in wheat. *Crop Sci.* 40:1148-1155.
- Sologubik, C.A., Campañone, L.A., Pagano, A. M. , Gely, M.C. 2013. Effect of moisture content on some physical properties of barley. *Industrial Crops and Products*, 43: 762-767. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.019>
- Soltani, A., Ghorbani, M. H., Galesi, S., Zeinali, E. 2004. Salinity effects on germinability and vigor of harvested seeds in wheat. *Seed Science and Technology.* 32(2), 583-592.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2019. SAS user's guide. Statistics. Version 9.4. SAS Institute Cary, NC. USA.
- Su, Z., Jin, S., Lu, Y., Zhang, G., Chao, S., Bai, G. 2016. Single nucleotide polymorphism tightly linked to a major QTL on chromosome 7^a for both kernel length and kernel weight in wheat. *Molecular Breeding*, 36(2), 15.
- Suárez, D., Melgarejo, L. M. 2010. Biología y germinación de semillas. *Experimentos en fisiología vegetal*, 13-249.
- Symons, S. J., R. E. Angold, M. Black, and J. M. Chapman. 1983. Changes in the growth capacity of the developing wheat embryo. I. The influence of the enveloping tissue and premature drying. *J. Exp. Bot.* 34: 1541-1550.
- Tadesse, W., Halila, H., Jamal, M., El-Hanafi, S., Assefa, S., Oweis, T., Baum, M. 2017. Role of sustainable wheat production ensure Food security in the CWANA región. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 5, S15-S32.
- Tadesse W., Sanchez-Garcia, M., Assefa, S.G., Amri, A., Bishaw, Z., Ogbonnaya, F.C., Baum, M. 2019. Genetic Gains in Wheat Breeding and Its Role in Feeding the World. *Crop Breed Genet Genom.* 1:e190005. <https://doi.org/10.20900/cbgg20190005>
- Tian, Z., Jing, Q., Dai, T., Jiang, D., Cao, W. 2011. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China. *Field Crops Res.* 124, 417-425.

- Tillmann, M.A.A., V. D. C. de Mello e G. R. M. Rota. 2003. Analise de sementes. In: Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos. T. S. Peske., M. D. Rosenthal e G. R. M. Rota Editora Rua. Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil. pp: 138-223.
- Valadez G., J., L. M. Serrano C. y L. E. Mendoza O. 1992. Criterios morfológicos de la madurez fisiológica en trigo. Rev. Fitot. Mex. 15: 114-124.
- Valenzuela, A. J. L., Benítez, R. I., Villaseñor, M. H. E., Huerta, E. J., Lobato, O. R., Bueno, A. G., Vargas, H. M. 2018. Comparación del rendimiento de trigos harineros y cristalinos a través de diferentes ambientes de riego. Revista Fitotecnia Mexicana, 41(2), 159-166.
- Villarreal, R. L. 1995. Expanding the genetic base of CIMMYT bread wheat germplasm. In: wheat breeding at CIMMYT Commemorating 50 years of research in Mexico for global wheat improvement. Rajaram, S. and Hettel, G.P. (Eds.). Wheat Special Report No. 29. CIMMYT. Mexico, D. F. 16-21 pp.
- Villaseñor, M. H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 149 p.
- Villaseñor, M. H. E., Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. In: Villaseñor, M. H. E., Espitia, R. E. 2000. El trigo de temporal en México. Chapingo, Estado de México, México, SAGAR, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. 315 p. (Libro Técnico Núm. 1).
- Villaseñor M. H. E. 2015. Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm 11 p. 2183-2189.
- Wang, L. H., Li, G. Y., Peña, R. J., Xia, X. C. and He, Z. H. 2010. Identification of novel allelic variants at Glu-A3 locus and development of STS markers in common wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Cereal. Sci. 51: 305-312.
- William, M., Singh, R. P., Huerta, E. J., Ortiz, I. J. and Hoisington, D. 2003. Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene *Lr46* and its association with stripe rust resistance gene *Yr29* in wheat. Phytopathology, 93: 153-159.
- Würschum, T., Leiser, W. L., Langer, S. M., Tucker, M. R., Longin, C. F. H. 2018. Phenotypic and genetic analysis of spike and kernel characteristics in wheat reveals long-term genetic trends of grain yield components. Theoretical and Applied Genetics. 131(10). 2071-2048.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14 (6), 415-421.