

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comparación de Líneas Elite vs Variedades Comerciales de Trigo (*Triticum aestivum* L) a Través de Pruebas Fisiológicas.

Por:

LEANDI ARACELI GARCÍA VELASCO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comparación De Líneas Elite vs Variedades Comerciales de Trigo (*Triticum aestivum* L) a Través de Pruebas Fisiológicas.

Por:

LEANDI ARACELI GARCÍA VELASCO

TESIS

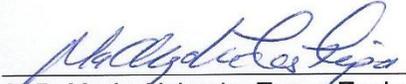
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Victor Manuel Zamora Villa

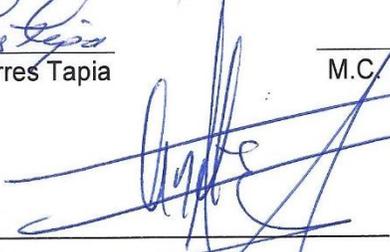
Asesor Principal


M.P. María Alejandra Torres Tapia

Coasesor


M.C. Modesto Colín Rico

Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por todas las bendiciones que ha derramado en mí, por permitirme terminar este proyecto de vida, por la vida que me ha dado y a las personas que puso en mi camino y sobre todo por dejarme hacer realidad uno de mis sueños más anhelados.

A mi Alma Terra Mater:

Por brindarme a las mejores personas que compartieron sus conocimientos conmigo, durante mi desarrollo profesional, por recibirme con los brazos abiertos y hacer de esta institución una segunda casa gracias por todas las experiencias vividas dentro de ella.

A mis asesores. M.C Alejandra Torres Tapia

Por darme los conocimientos necesario para el desarrollo de mi proyecto, por estar ahí para desarrollarme de la mejor manera, y por formar parte del terminó de este, por sus consejos, aclaraciones y aportaciones a mi trabajo. Y lo más importante por ser más que una asesora una amiga, le estaré infinitamente agradecida.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Por el apoyo brindado en cada una de las etapas tanto de este proyecto, como de mi desarrollo universitario, por hacer de este proyecto una fuente de aprendizajes y en especial por la amistad brindada.

Al Ing. Modesto Colín Rico

Por sus sugerencias y apoyo a este proyecto de investigación, por las revisiones para que este sea un mejor proyecto.

A la TLQ Martha Alicia Jaramillo Sánchez

Por ser participe en este proyecto, por sus consejos y por la amistad brindada hacia mi persona.

DEDICATORIAS

A MI PADRE

Conrado García Velasco

Por ser el mejor papá del mundo, por brindarme las herramientas necesarias tanto para mi vida profesional como la personal, te estaré eternamente agradecida por todo lo que hiciste para que yo pudiera lograr mis sueños, Gracias por tus consejos por escucharme y siempre estar ahí cuando lo necesité.

A MI MADRE

Araceli Velasco García

Por ser la mejor madre del universo, por siempre comprenderme y amarme, por creer en mí y por sacar lo mejor de mí siempre, estaré agradecida eternamente con la vida, por ponerte a ti como mi madre porque tú has sido parte primordial para que yo esté aquí concluyendo uno de mis sueños te amo madre.

A MIS HERMANOS

Kareli Amivery García Velasco

Gracias hermana, por ser un ejemplo en mi vida, por siempre estar ahí cuando más lo necesito, por hacerme ver lo que está bien y lo que está mal, sin ti yo no estaría aquí en este momento te agradezco por todo en lo que me has apoyado, porque nunca me has dejado sola, y si me caigo sé que siempre estás ahí para levantarme te amo con el alma.

Carlos Alejandro García Velasco

A ti por siempre sacarme una sonrisa cuando más lo necesito, porque sé que aunque estamos a miles de kilómetros de distancia, tu amor no cambia, nunca me cansare de agradecerle a la vida por los hermanos que me dio,. Los amo

José Alexis Toledo Flores

A lo mejor no seamos hermanos de sangre, pero del alma lo eres, gracias por adoptarme en tu vida, por apoyarme, escucharme, animarme cuando más lo necesito y porque sé que estarás ahí siempre, en verdad no tengo palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mí.

Ayber Daniel Santiago García

Por ser más que un primo, ser un hermano, uno de mis mejores amigos, gracias por todo el apoyo que me brindaste, te quiero muchísimo.

A la memoria de mis Abuelos que están en el cielo

Marial Luz García Pérez y Ricardo García Vázquez

Gracias abuelos por los consejos que me dieron cuando los tenía a mi lado, sé que ahora son estrellas iluminando mi vida, que siempre estarán a mi lado cuidándome un beso hasta el cielo para ustedes.

A mis abuelos Jorge Velasco Morales y Flor Velasco López

Por confiar en mí, por el amor que me brindan siempre y por ser los mejores abuelos de la vida los amo.

A mi padrino

Gildardo García Velasco

Por ser más que un tío, ser un segundo padre, por siempre apoyarme en todas mis decisiones, por sus consejos por todo el amor que me ha brindado a lo largo de mi vida, por nunca abandonarme y siempre preocuparse por mi bienestar, le estaré eternamente agradecida, porque sé que siempre podré contar con usted.

A mi madrina

Lidia García Velasco

Por ser una madrina tan cariñosa conmigo, por levantarme el ánimo siempre, porque siempre está ahí cuando la necesito, por hacerme reír y claro regañarme de vez en cuando, por ser una amiga para mí la quiero mucho.

A Todos mis tios, tias, primos y primas

Por todo el amor que me ha dado, por los consejos, las risas, los regaños que han compartido conmigo, porque parte de lo que soy se los debo a ustedes.

A mis amigos de toda la vida:

Sandra Marysol, Sandra Rodríguez, Nayeli López, Lucy Santiago, Rolfi Morales, Keni Velasco, Alexis Pilli.

Gracias porque a pesar de que pasa mucho tiempo sin vernos las cosas, el amor y su amistad siguen intacta, agradezco siempre sus palabras de aliento porque en verdad los necesitaba y ustedes me las dieron. Los amo con todo mi corazón hermanos del alma.

A mis amigos de la Universidad

Carlos García Rodríguez, Graciela Flores Suarez, Yazmin Hernández Guzmán, Amacalli Lira, Lázaro Ramírez, Floridalia Ramírez, Rodrigo.

Por ser más que mis amigos, una nueva familia, gracias por todos los momentos dentro y fuera de la universidad, por los consejos, risas, regaños que me brindaron; gracias por creer en mí, porque tal vez proveníamos de distintos lugares, pero teníamos el mismo propósito, y sé que cada uno lo lograra, Gracias amigos.

A las personas que se fueron, son y serán amigos y familia.

Brenda Aldrete, Mario Martínez, Liset Méndez, Jorge Saucedo, Ximena Martínez, Sandra Gonzales.

A ustedes por brindarme su cariño y amistad, estaré infinitamente agradecida con cada uno de ustedes por hacer que el tiempo valiera la pena, espero tenerlos en mi vida por muchísimo tiempo más.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General.....	5
Objetivos específicos.....	5
Hipótesis.....	5
II. REVISION DE LITERATURA	6
Generalidades del trigo	6
Importancia económica del cultivo	7
Mercado internacional	8
Producción mundial	9
Consumo	10
Producción nacional trigo (para grano)	11
Producción nacional trigo (para forraje).....	11
Producción de trigo.....	12
Proceso de germinación	15
Proceso de la germinación (fases).....	16
Viabilidad.....	24
Germinación	26
Vigor	27
Preacondicionamiento.....	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
Localización del sitio experimental.....	30
Material genético	30
Metodología	31
Tasa de Imbibición (TI)	31
Variables evaluadas en la segunda fase.....	34
Plántulas Normales (PN)	34
Plántulas Anormales (PA).....	35

Semillas Sin Germinar (SSG).....	35
Vigor	35
Longitud Media de Plúmula (LMP).....	35
Longitud Media de Radícula. (LMR)	36
Tasa de crecimiento de plántula mediante Peso seco (PS).....	37
Diseño experimental.....	37
Análisis estadístico	37
Análisis de Regresión.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
Tasa de Imbibición.....	40
Prueba de medias de genotipos.....	40
Capacidad de germinación.....	44
Vigor de la Semilla	46
V. CONCLUSIONES.....	48
VI. LITERATURA CITADA	49

INDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia de la tasa de imbibición	40
Cuadro 4.2 Comparación de medias y agrupación de diez genotipos, en etapa de imbibición.	41
Cuadro 4.3 Funciones de respuesta de la variable Tasa de Imbibición, coeficientes de determinación (R^2) Y Tiempos (T Max) en diez genotipos de Trigo.....	42
Cuadro 4.4 Niveles de significancia arrojados en el análisis de varianza.	44
Cuadro 4.5 Comparación de medias de las variables Capacidad de Germinación.	45
Cuadro 4.6 Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor.	46
Cuadro 4.7 Comparación y agrupamiento de las variables de Vigor.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Producción mundial de trigo 2001-2015, estimación del proyecto mundial, Noviembre, 2015.	10
Figura 2. 2. Comparación de la producción de trigo grano y trigo para forraje 2001-2015.	12
Figura 3. 1. Evaluación de volumen y peso de los materiales genéticos de trigo forrajero.	32
Figura 3. 2. Realización de prueba de capacidad de germinación de los materiales genéticos de trigo forrajero.	33
Figura 3. 3. Prueba de capacidad de germinación de los materiales genéticos de trigo forrajero.	34
Figura 3. 4 Prueba de longitud media de plúmula de los materiales genéticos de trigo forrajero.	36
Figura 3. 5. Prueba de Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco) de los materiales genéticos de trigo forrajero.	37
Figura 4. 1. Grafica de comparación de medias en la Tasa de Imbibición de diez genotipos de trigo durante 22 horas.	43

RESUMEN

En el norte del país recurrentemente se presentan variaciones drásticas de temperaturas que causan estragos notables en la agricultura nacional. Una alternativa son los cereales invernales para sostener la producción ganadera, poseen tolerancia a heladas durante el desarrollo vegetativo y su uso se ha extendido en los últimos años, utilizándolos en pastoreo, verdeo, henificado, picado y ensilado. En los últimos años, el consumo de trigo forrajero dirigido al área pecuaria ha llegado a tener gran importancia en el sistema de producción, que tiene como finalidad obtener mayor cantidad de carne o de leche con el menor costo posible, por lo que la producción de pasto durante el invierno es solo un punto dentro del sistema. Para que esta producción de forraje se traduzca en mayor producción, tanto de carne como leche, se deben sumar otros factores no menos importantes como la disponibilidad de variedades sobresalientes, la calidad de semilla como materia prima, la eficiencia de cosecha, la eficiencia de conservación, y la calidad de forraje. Como consecuencia de un bajo rango de producción de trigo forrajero, en la actualidad, la investigación sobre mejoramiento genético ha tenido gran auge.

Existen alternativas como la selección y mejoramiento genético para obtener variedades resistentes para ello existen tratamientos pregerminativos para obtener una pronta emergencia y rendimientos en condiciones no tan favorables. Se evaluaron ocho líneas experimentales, generadas por el Programa de Cereales de la UAAAN, comparándolas con dos variedades comerciales, para contribuir a las técnicas de osmocondicionamiento. Esto determinando la tasa de imbibición (TI), su relación con la Calidad física y fisiológica, Capacidad de Germinación (CG) y Vigor, bajo condiciones de laboratorio, evaluando los genotipos hasta obtener el 50% más uno de emergencia, y después de siete días de la siembra se analizaron los datos obtenidos en un diseño completamente al azar, obteniendo las diferencias significativas en TI. El análisis de regresión realizado en la lectura de los genotipos reporto comportamientos cuadráticos, ya que el análisis cuadrático fue el que se ajustó mejor a los análisis. De acuerdo con este análisis y al

procedimiento de la segunda derivada se obtuvieron los tiempos máximos tiempos de TI para cada genotipo, obteniendo resultados de 20.94 horas, destacando los genotipos AN-360-09 Y AN-361-09 quienes resaltaron con una TI en menor tiempo al obtenerla en 13.98 y 14.17 horas, aunque no se presentó la misma respuesta en Calidad física y fisiológica.

Palabras Clave: *Tasa de Imbibición, Preacondicionamiento, Fisiología de semillas, Trigo.*

I. INTRODUCCIÓN

Después del maíz y frijol, el trigo es una de las fuentes más importantes de nutrientes de bajo costo en la dieta de la población Mexicana, sobre todo en la población rural y urbana con bajos recursos. Su procesamiento y consumo se consideran uno de los principales generadores de empleos, al igual que genera una importante tasa económica en varios sectores productivos de trigo; por ello, la gran relevancia como cultivo básico en la vida de la población y su desarrollo socioeconómico de México.

La producción total mexicana de trigo durante el periodo del 2016 fue de 3 millones de toneladas, con un rendimiento de $5.77 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, siendo Baja California, Chihuahua, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas, Sinaloa y Coahuila los principales estados productores; para el año 2017 la producción total fue de 3 millones de toneladas con un rendimiento de 5.7 t h^{-1} . En el año de 2018 la producción total fue de 2 millones de toneladas con un rendimiento de 6 t h^{-1} .

En los últimos años, el consumo de trigo forrajero dirigido al área pecuaria ha llegado a tener gran importancia en el sistema de producción, que tiene como finalidad obtener mayor cantidad de carne o de leche con el menor costo posible, por lo que la producción de pasto durante el invierno es solo un punto dentro del sistema. Para que esta producción de forraje se traduzca en mayor producción, tanto de carne como leche, se deben sumar otros factores no menos importantes como la disponibilidad de variedades sobresalientes, la calidad de semilla como materia prima, la eficiencia de cosecha, la eficiencia de conservación, y la calidad de forraje.

Sin embargo, la producción de trigo forrajero no ha tenido el equilibrio adecuado, ya que la producción esta inclinada principalmente en la producción de grano y no en la de forraje; y como especie, el cultivo de trigo constituye una fuente de nutrimento para el hombre y para los animales que su disponibilidad en un

momento dado, significa la satisfacción de una necesidad esencial para la conservación de la vida.

Para la ejecución de este cultivo es indispensable contar con variedades adecuadas para tal fin, cuyas características más importantes serían poseer ciclo largo y estar adaptadas a las siembras tempranas, lo cual permitiría disponer de una larga fase vegetativa.

La escasez de variedades disponibles en el mercado es un inconveniente (Morant et al., 2007; Merchán et al., 2009), ya que los genotipos existentes han sido seleccionados por su mayor rendimiento de grano y no suelen ser los de mayor producción forrajera (Calderini et al., 1997; Krenzer et al. 1996).

En el norte del país recurrentemente se presentan variaciones drásticas de temperaturas que causan estragos notables en la agricultura nacional. Una alternativa son los cereales invernales para sostener la producción ganadera, poseen tolerancia a heladas durante el desarrollo vegetativo y su uso se ha extendido en los últimos años, utilizándolos en pastoreo, verdeo, henificado, picado y ensilado (Hughes et al., 1974, Flores et al., 1984, Colín et al., 2004).

Un dato alarmante, fue la pobre calidad de producción en trigo por contener baja proteína a nivel nacional, observada en la campaña triguera de 2015-2016 (SIAP), debido al uso de variedades inadecuadas y las fechas de siembra, descendido en los últimos años, con una caída importante en la producción.

La producción total de trigo verde (forraje) en el periodo 2016-2018 fue: en el año 2016 un total de producción de 5 mil toneladas, con un rendimiento de 21.6 t ha⁻¹ siendo Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora, Baja California, Zacatecas y Oaxaca los principales estados productores. Para el año 2017 la producción total tuvo un descenso notorio al año anterior quedando con una producción de 24 mil toneladas, aunque el rendimiento por ha⁻¹ aumentó de un 21.6 a un 26.99, siendo ahora Chihuahua, Coahuila, Durango y Sonora los únicos y principales productores; para el año 2018 la Producción disminuyó aún más, con una

producción total de 18 mil toneladas y un rendimiento de 17.38 t ha⁻¹, siendo Chihuahua, Durango, Coahuila y Sonora los principales productores.

Como consecuencia de este bajo rango de producción de trigo forrajero, en la actualidad, la investigación sobre mejoramiento genético ha tenido gran auge, en aspectos sobre obtención de nuevas variedades con diferentes curvas de producción, control genético en roya amarilla (William *et al.*, 2003), mejoramiento en calidad de proteína (Peña *et al.*, 2004), mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable (SAGARPA-CONACYT, 2011-2016), mejoramiento para genotipos resistentes a cambio climático (altas temperaturas), resistente a hongos patógenos, resistente a sequías (CIMMYT, 2019)

Dentro del avance en la investigación de la disponibilidad de variedades forrajeras en el Norte de México; el Programa de Mejoramiento de Cereales de Grano Pequeño de la UAAAN, ha generado en los últimos años algunas líneas élite, con características sobresalientes en rendimiento y calidad nutritiva de forraje. Sin embargo, para poder apoyar aún más al productor, se requiere implementar tecnología como el osmo-acondicionamiento o pre-acondicionamiento para una más pronta emergencia en campo. Es un tratamiento pre-germinativo que se aplica principalmente a algunas semillas agrícolas colocándolas por tiempo determinado en soluciones osmóticas o en matrices solidas (Heydecker *et al.*, 1973). Estos tratamientos pre-germinativos promueven la sincronización e incrementan la velocidad de germinación en la mayoría de la población de semillas (McDonald, 2000; Sánchez *et al.*, 2001; Butola y Badola 2004).

En el proceso de germinación se presenta la primera etapa, la imbibición, que tiene un papel muy importante en el manejo de la semilla por estar relacionada con las condiciones de humedad, temperatura y oxígeno óptimas que requiere el proceso, que en algunos casos, si se tienen bajas temperaturas se reduce el vigor de las plántulas de muchas especies como la de *opuntia* (cactaceae) y en algunos otras, favorece su velocidad de emergencia como lo son *Zea mays L* (Graminea) *Solanum lycopersicum*, (Solanaceae) lo que indica que la imbibición está ligada

directamente a la fisiología de absorción de agua y respiración de la misma semilla.

Es por ello, la necesidad de estudiar la respuesta fisiológica básica de ocho líneas elite sobresalientes generadas por el programa de cereales de la UAAAN y compararlas con dos variedades comerciales, determinando sus características de cada material en la primera etapa del proceso de germinación, como el tiempo óptimo de absorción de humedad y su respuesta en la viabilidad, germinación y vigor, planteando el siguiente objetivo general y específicos:

Objetivo General

- Evaluar la tasa de imbibición de líneas elite de trigo forrajero y su eficiencia en germinación y vigor.

Objetivos específicos

- Determinar la tasa de imbibición y la máxima tasa de imbibición de 10 genotipos de trigo forrajero.
- Evaluar el efecto de tiempos de imbibición en 10 genotipos con la germinación y vigor mediante la longitud media de plúmula (LMP), longitud media de radícula (LMR) y peso seco de plántula (PS).

Hipótesis

- Al menos uno de los genotipos evaluados tendrá una tasa de imbibición superior a la de las variedades comerciales (Pelón colorado y Candeal).
- Al menos un genotipo germinará o mostrará mejor vigor que Pelón colorado y Candeal en los tiempos evaluados.

II. REVISION DE LITERATURA

Generalidades del trigo

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es considerado la especie agrícola más antigua cultivada por el hombre y es el cereal más cultivado en el mundo en la actualidad, originalmente era una especie silvestre, las evidencias encontradas muestran que creció primero en la Mesopotamia entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates en el Medio Oriente casi hace 10000 años, y no fue hasta los años 2000 y 3000 a.c cuando los egipcios descubrieron la fermentación y fueron ellos quienes cocinaron panes por primera vez, en 1529 fue introducido a México gracias a los españoles, desde entonces este cultivo forma parte importante en la dieta de la población Mexicana, por la disponibilidad y el bajo costo que lo hace accesible a la gran parte de la población, así como las diferentes formas y presentaciones para el consumidor, como lo son, tortillas, pan, harinas entre otros (Shewry, 2009).

En todo cultivo es imprescindible tener en cuenta la calidad de la semilla para su éxito (Doria, 2010). Las condiciones de almacenamiento y los recipientes utilizados para su almacenamiento, repercuten en la longevidad de las semillas almacenadas, que las condiciones del ambiente en la cámara climatizada (Gómez, 2006) y dentro de ellas, la humedad es uno de los que posee mayor incidencia (Diojode, 1995; Chai *et al.*, 1998; Walters *et al.*, Clerkx *et al.*, 2003)

El trigo es la planta más ampliamente cultivada del mundo. El trigo que crece en la tierra puede incluso superar la cantidad de todas las demás especies productoras de semillas, silvestres o domesticadas. Cada mes del año una cosecha de trigo madura en algún lugar del mundo. Es la cosecha, más importante en Estados Unidos y Canadá, ya que crece en extensas zonas en casi todos los países de América Latina, Europa y Asia.

El trigo es una planta gramínea anual, de la familia del césped, con espigas de cuyos órganos molidos se saca la harina, esta especie pertenece a la familia de las gramíneas (*poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum*,

T. compactum. El trigo harinero llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo.

Las condiciones del clima y suelo que necesita el trigo para su cultivo, no son específicas, pues se adapta a circunstancias diversas, pero principalmente se realiza en zonas templadas. La condición óptima depende de la etapa de desarrollo, de la variedad y tipo de plantas. (CANIMOLT, 2012)

El trigo ocupa el segundo lugar en el mundo en cuestión de producción después del maíz, de la cual alrededor de 75% del volumen de su producción se emplea de manera directa para consumo humano (IERAL, 2012), 15% para consumo animal y el resto se utiliza como semilla (FAO, 2012).

La semilla es la unidad reproductiva compleja que se forma a partir del ovulo vegetal, después de la fertilización (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, sanitaria (McDonald, 1985; Marcos Filho 1994; Bishaw *et al.*, 2007; Courbineau, 2012). En el caso de cereales de grano pequeño, el termino de calidad de semillas normalmente es utilizado con referencia únicamente al vigor, tamaño y germinación de semillas (Ellis, 1992).

Importancia económica del cultivo

El trigo ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo el cereal más cultivado.

Es considerado un alimento para consumo humano, aunque gran parte se destina a la alimentación animal, así como a subproductos de la transformación industrial destinado para piensos.

La propiedad más importante del trigo es la capacidad de cocción de la harina debida a la elasticidad del gluten que contiene; esta característica permite la planificación, construyendo un alimento básico para el hombre.

El trigo contiene además nutrientes y valor energético en mayor cantidad que los demás granos y nutricionalmente solo es comparable con la avena. El consumo humano de este cereal, no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso previo de transformación que inicia con la molienda, mediante la que se obtiene la harina cruda el cual no es digerible por el sistema digestivo humano, es por eso que para su consumo, es necesario un proceso de cocción, generalmente por horneado o hervido.

En los últimos años, el consumo de trigo forrajero dirigido al área pecuaria ha llegado a tener gran importancia en el sistema de producción, que tiene como finalidad obtener mayor cantidad de carne o de leche con el menor costo posible, por lo que la producción de pasto durante el invierno es solo un punto dentro del sistema. Para que esta producción de forraje se traduzca en mayor producción, tanto de carne como leche, se deben sumar otros factores no menos importantes como la disponibilidad de variedades sobresalientes, la calidad de semilla como materia prima, la eficiencia de cosecha, la eficiencia de conservación, y la calidad de forraje.

Mercado internacional

Posee un alto grado de comercialización, por lo que el autoconsumo no es muy significativo. La harina es utilizada como materia prima en algunas industrias, que la transforman cocinada a productos masivos terminales (Panificación y Repostería). Por lo anterior, la mayor demanda del cereal en nuestro país la tiene la industria harinera, la que a su vez provee de materia prima a los fabricantes de la industria del pan, en donde la calidad del producto es determinada por la cantidad y la calidad de la proteína del grano.

Entre los constituyentes de este grano se encuentran el agua (humedad), las proteínas, la fibra y los carbohidratos. La calidad de proteína le indica a la industria

el tipo de proceso a realizar. Su aceptación o rechazo se rige por medio de la certificación de laboratorio con base en la Norma Oficial Mexicana y en el análisis de la proteína.

Bajo estas premisas es el cultivo que registra el mayor volumen que se comercializa. Si bien es cierto que México no es un productor y comercializador importante en el orbe, también es cierto que es un producto significativo en la dieta de la población y cuya producción beneficia e indirectamente otras actividades productivas como a la industria (OEIDRUS, 2002).

Mientras que en el ciclo comercial 2012-2013 los inventarios finales internacional es del cereal disminuyeron en 21.4 millones de toneladas, en el ciclo 2013-2014 se presentaron excedentes en la producción del grano para lograr una recuperación de los inventarios finales en 10.89 millones de toneladas. Para el ciclo 2014-15 las expectativas de producción se presentaron al alza, y se estimó una producción de 719.8 millones de toneladas y un consumo de 711.2 millones de toneladas, lo que presentaría un superávit de 8.6 millones de toneladas.

Producción mundial

Según las proyecciones del 2009, la producción mundial de trigo aumentaría un 1.3 por ciento anualmente, hasta tener 679 millones de toneladas para 2010, ello representaría un incremento de aproximadamente de 12 millones de toneladas, es decir en un 15 por ciento, con respecto al periodo base.

La producción mundial de trigo creció a una tasa promedio anual de 1.7 por ciento entre 2001-2002 y 2013-2014 (Figura 2.1), teniendo mayor actividad en la producción de 2013-2014, con un incremento a tasa anual de 8.6 por ciento respecto al ciclo anterior.

Este incremento es una respuesta al aumento en la producción de la Unión Europea (con un incremento del 7.9 por ciento en el rendimiento por hectáreas, es

decir, 0.1 toneladas por hectárea más que en el 2012-2013 y de Rusia (con un aumento de la superficie cosechada en 9.9 por ciento).

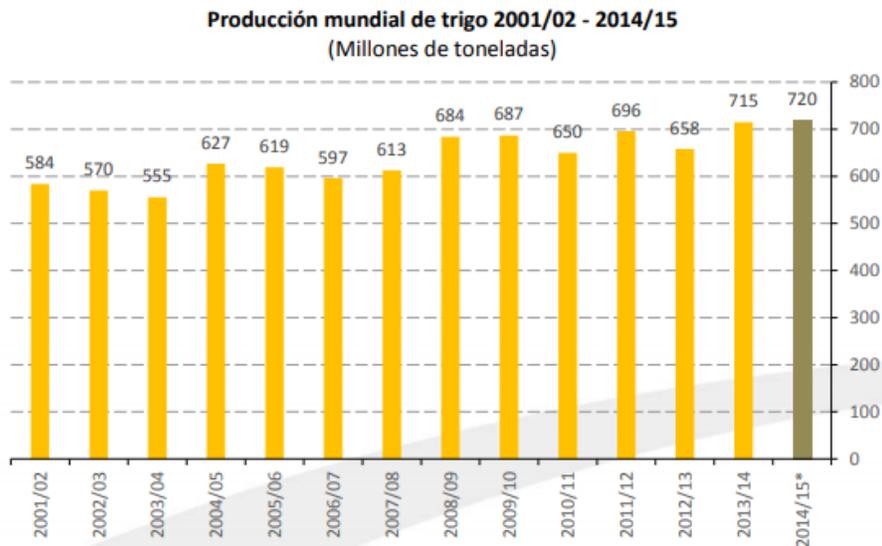


Figura 2. 1. Producción mundial de trigo 2001-2015, estimación del proyecto mundial, Noviembre, 2015. Fuente USDA, 2014.

Consumo

El promedio mundial en el consumo del trigo fue de 95 kg, cifra que confirma que este grano es el segundo de mayor consumo en el mundo, antecedido solo por el maíz. La participación de México en el consumo internacional de trigo representó el 1 por ciento del total mundial, ubicándose en el lugar 19º en consumo, así mismo, a nivel per cápita, los mexicanos consumieron en el periodo promedio de 56 kg por habitante, cifras que muestran que aunque no es uno de los principales consumidores a nivel internacional, el grano si es de especial importancia en el consumo de la población mexicana (SAGARPA, 2011).

En el ciclo 2013-2014 el consumo mundial de trigo fue de 694.5 millones de toneladas, creció a una tasa anual de 1.2 por ciento, y se ubicó como el consumo record en los últimos 54 años. Las estimaciones más recientes de USDA prevén que el consumo mundial de trigo para 2014-2015 será de 711.2 millones de toneladas, lo que representa un incremento anual de 2.4 por ciento.

El consumo de grano para uso industrial, humano y semilla aumento en 2013-2014 fue de 563.3 millones de toneladas, lo que representa un aumento de 20.6 por ciento respecto al ciclo anterior, en tanto el consumo para uso forrajero decreció en 5.0 por ciento en la tasa anual.

Producción nacional trigo (para grano)

Según cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la producción total mexicana de trigo durante el año 2014 fue de 3.6 de toneladas.

De acuerdo con el Servicio de la Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) la producción total nacional durante el 2016 y 2017 fue de 3.7 y 3.4 millones de toneladas y un rendimiento de 5.8 y 5.6 t ha⁻¹, siendo Baja California, Chihuahua, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas, Sinaloa y Coahuila, lo más importantes. En 2018, disminuyó a 2.8 millones de toneladas, con un rendimiento mayor de 6 t ha⁻¹, en los mismo estados incluyendo en este año el estado de Zacatecas.

Producción nacional trigo (para forraje)

De acuerdo con las cifras señaladas por el Servicio de la Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) la producción total nacional durante el año de 2016 fue un total de 52.8 mil toneladas con un rendimiento de 21.6 t ha⁻¹, destacando en producción los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora, Baja California, Zacatecas y Oaxaca.

Para la producción correspondiente al año 2017 fue de un total de 24.6 mil toneladas con un rendimiento de 26.99 t ha⁻¹, destacando Chihuahua, Coahuila, Durango y Sonora.

En el año de 2018 la producción total fue de 18.7 mil ton con un rendimiento de 17.38 t ha⁻¹ siendo Chihuahua, Coahuila, Durango y Sonora los estados con mayor producción nacional.

En cuanto a la producción mundial, para el año 2014, se prevía que el consumo tendría un incremento comparado a los años anteriores, señalando que el trigo forrajero representa un promedio de 45.9 por ciento de la producción total del cereal, mientras que la demanda de trigo para grano (para uso humano, industrial y semilla) ha mostrado un consumo estable con un ligero incremento del 0.7 por ciento de la tasa de producción anual; es por ello que se hace una comparación en la producción de dicho cereal.

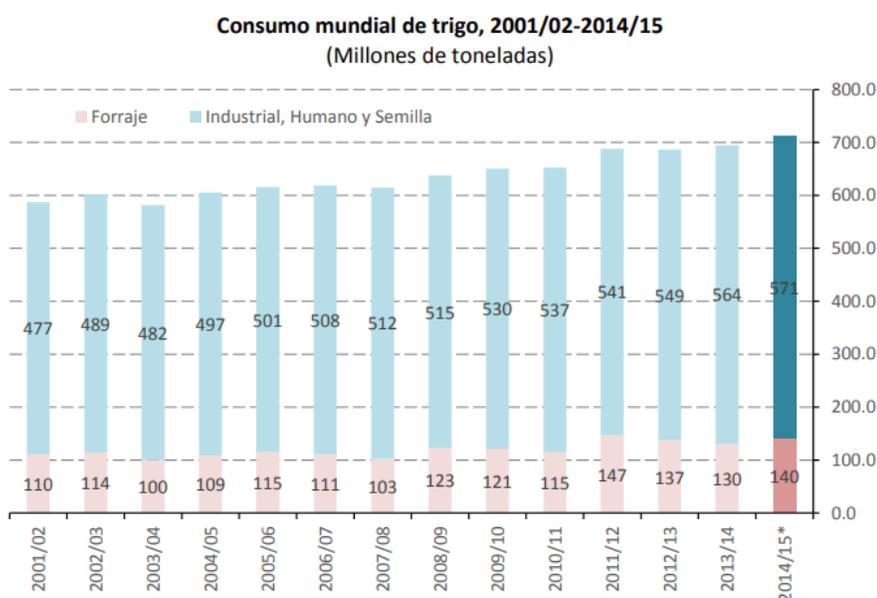


Figura 2. 2 Comparación de la producción de trigo grano y trigo para forraje 2001-2015, estimación de proyecto mundial Noviembre, 2015. Fuente USDA, 2014.

Producción de trigo

Las operaciones a realizar en la preparación del terreno varían de acuerdo con el tipo de suelo, maquina disponible y el cultivo anterior (INIFAP, 1996).

Subsoleo. Es necesario en presencia de suelos compactados, en este caso hay que realizarse de 50 a 60 cm.

Barbecho. Voltear la tierra de la capa arable, mejorando la estructura. Es recomendable la realización tres meses antes a una profundidad aproximada de 25- 30 cm.

Rastreo. Una vez barbechado el suelo, este se efectúa perpendicular al barbecho a una profundidad de 10-20 cm para deshacer terrones grandes que hayan quedado en el suelo, obteniendo un terreno más blando para facilitar la germinación de la semilla y la emergencia de la planta.

Nivelación. Es una operación que se lleva a cabo en la producción de trigo que está bajo riego, cuando los terrenos tienen una pendiente mayores a 0.1 por ciento (10 cm por cada 100.), permitiendo la distribución uniforme del agua.

Trazo de Riego. Se realiza solo para mejorar la distribución del agua dentro del terreno de acuerdo a su topografía para evitar la erosión y acarreo del suelo. Los trazos podrán hacerse en parcelas rectas o en contorno con 5-10 cm de desnivel cada 100 m.

Cantidad de semilla. La densidad de la semilla puede ser de 80- 120 kg ha⁻¹ para variedades de ciclo intermedio, bajo condiciones de riego.

Método de siembra. Lo recomendable es sembrarlas en parcelas con suelos húmedos o “tierra venida”, a una profundidad de 6-7 cm, en caso de hacerse en seco se recomienda que sea a una profundidad de 3-5 cm, para la siembra se recomienda realizarse con una sembradora de grano pequeño a chorrillo en hileras con distancia de 17.5 cm. En temporal se puede realizar por siembra al voleo o de forma mecanizada.

Fertilización. Con tres riegos de auxilio es recomendable utilizar 120 kg ha⁻¹ de fósforo y la mitad de nitrógeno al momento de la siembra y la mitad restante de nitrógeno antes del primer riego de auxilio. Con uno o dos riegos de auxilio se sugiere emplear 65 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 30 kg ha⁻¹ de fósforo aplicando todo el nitrógeno y el fósforo al momento de la siembra. Si en la parcela no hubo ningún cultivo anteriormente se recomienda 140 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 100 kg ha⁻¹ de fósforo.

Riegos. Cuando se tiene presencia de suelos arcillosos es recomendable aplicar un riego de pre-siembra de 20-25 cm de lámina y tres riegos de auxilio de 10-15 cm de lámina; el primer riego de auxilio será para la etapa fisiológica de amacollamiento, el segundo para el encañe y el tercero durante el inicio de la floración. En suelos de textura ligera o arenosa se realizan cinco riegos los cuales serán; el primero en la pre-siembra con 20-25 cm de lámina y cuatro riegos de auxilio con láminas de 10-12 cm respectivamente, las cuales se aplicaran en las mismas circunstancias que las anteriores, solo restara un cuarto riego que comprenderá en el estado lechoso del grano.

Control de malas hierbas. Es importante que se tenga un cultivo libre de cualquier tipo de maleza principalmente de hoja ancha durante los primeros 30-40 días, para ello puede utilizarse algún tipo de herbicida, aunque debido a los bajos precios en cereales, el desarrollo de resistencia y una mayor concientización hace que se empleen combinaciones entre diferentes acciones teniendo como prioridad los métodos físicos, biológicos y prácticas culturales.

Control de plagas: los principales son el pulgón del cogollo, el cual puede ser combatido con muchos productos comerciales ya conocidos tales como Diazinón 40, Thimet 8 entre otros la aplicación de estos productos deberá realizarse en el estado lechoso del grano y cuando la media de presencia de la plaga sea de 10 pulgones por espiga.

Enfermedades del cultivo. La roya de la hoja es una de las principales enfermedades de este cultivo, es común que se presente cuando hay altas temperaturas y humedad relativa, puede atacar al cultivo en cualquiera de sus etapas y pueden provocar daños hasta el 80 y 100% en las primeras etapas del cultivo o cuando el trigo comienza a espigar. La manera más económica y fiable es con la utilización de variedades resistentes.

Cosecha. Es recomendable iniciar la cosecha cuando las plantas estén completamente secas, es decir, 15 días después del pedúnculo, cuando el grano posea alrededor de un 13 por ciento de humedad.

Proceso de germinación

Para que una semilla germine se requieren ciertas condiciones favorables, que son humedad, temperatura, luz y oxígeno; cuando una semilla viva no germina aun estando en condiciones favorables, entonces se considera que la semilla está en estado latente (Montes, 1990).

La temperatura es un factor altamente decisivo, ya que este factor influye de manera notoria sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en las semillas después de la imbibición.

La actividad enzimática tiene presencia entre un máximo como en un mínimo de temperatura, dando lugar así a un óptimo intermedio; la temperatura óptima puede definirse como la adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible (Bewley y Black, 1982)

La diferencia principal entre las semillas ortodoxas y recalcitrantes se refiere a la tolerancia de las primeras a la desecación, esto es, la habilidad para conservarse viables a pesar de un bajo contenido de humedad (Bewley y Black, 1994). Los posibles mecanismos de mantenimiento de la viabilidad de las semillas recalcitrantes incluyen las relaciones de carbohidratos tipo sacarosa-rafínosa, que intervienen en el mantenimiento de la estabilidad de la membrana durante la desecación de la semilla y prevenir su daño (Koster, 1991; Black y Prichard, 2002).

Otros mecanismos fisiológicos pueden estar envueltos en el deterioro de las semillas recalcitrantes durante los periodos de almacenamiento y ser activados por radicales libres de oxígeno (Bailly, 2002) y contenidos bajos de ácido abscísico (ABA) en el embrión (Barbedo y Bilia, 1998).

La germinación se inicia con la imbibición y termina con la emergencia. La imbibición es la toma de agua por parte de la semilla seca, sin importar si esta se encuentra viable o no, y la emergencia es el proceso por el cual el eje embrionario en especies dicotiledóneas o radícula en monocotiledóneas crece, se extiende y atraviesa la estructura que lo rodean (Azcón y Talón, 2003). La absorción de agua

por parte de la semilla está directamente influenciada por la presencia de la testa y la permeabilidad que esta tenga. El tejido de reserva absorbe agua a una velocidad intermedia hasta completar su hidratación. Por otro lado el papel que tiene la testa es muy importante y fundamental en la toma de agua por la semilla; ésta y su permeabilidad están relacionadas con el intercambio gaseoso (Bewley y Black, 1994).

El efecto de las testas puede ser químico, un ejemplo característico es por la presencia de inhibidores fenológicos (Selle *et al.*, 1983) o mecánico impidiendo el flujo necesario de agua y oxígeno para la germinación (Kelly *et al.*, 1992). Bajo condiciones naturales, las semillas con cubiertas muy fuertes germinan sólo hasta que la testa es ablandada, lo que se consigue a través de la degradación bioquímica en la digestión ya sea de animales o microorganismos habitantes naturales del mismo ambiente o simplemente por efectos físicos del pisoteo (Sánchez *et al.*, 1983).

Proceso de la germinación (fases)

Primera fase: imbibición

La primera etapa de la germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla desde el medio exterior (imbibición). La hidratación de los tejidos de la semilla es un proceso físico con una duración variable según la especie considerada.

Una vez que la semilla se ha hidratado, comienza a activarse a toda una serie de procesos metabólicos que son esenciales para que tengan lugar las siguientes etapas de la germinación. En esta fase de la germinación, si las condiciones el medio lo determinan, la semilla puede deshidratarse retornando a su estado inicial. En general, esta deshidratación no afecta negativamente a las semillas, las cuales pueden posteriormente volver a hidratarse y reiniciar el proceso de germinación. No obstante, en algunas especies, una deshidratación prolongada puede implicar la transformación de la semilla de las semillas en “semillas duras”, que se caracterizan por que se imbiben muy lentamente.

Otros factores que pueden influir en esta etapa de la germinación son, la insuficiencia de agua (déficit hídrico), el exceso de agua, la velocidad de hidratación y la temperatura a la que tiene lugar la imbibición.

La absorción inicial de agua en la Fase I es una consecuencia de las fuerzas mátricas de las paredes celulares y los contenidos de las células de la semilla y esta absorción ocurre sin considerar si una semilla está en proceso de latencia o si en su caso es no viable (Méndez *et al.*, 2008). Por otro lado se dice que el proceso físico está determinado por la diferencia que puede tener entre el potencial de agua que tiene la semilla y el sustrato que la rodea. Este proceso da lugar al aumento de volumen en los tegumentos, así como, como los materiales de reserva y el embrión como zona más importante (Correa, 1990).

Al iniciar este proceso (incremento) se desencadena un proceso que da lugar al aumento proporcional en la actividad respiratoria de la semilla (García *et al.*, 2001); mientras que la absorción de agua por parte de la semilla está influenciada directamente por la presencia de la testa y la permeabilidad que esta pueda tener, el tejido de reserva absorbe agua a una velocidad intermedia hasta completar su hidratación (Moreno *et al.*, 2006).

La cantidad que penetra depende de las especies, pero por lo general es una cantidad alta. En el caso de los cereales varía de entre el 40 al 60% del peso de la semilla seca, en algunas el caso de algunas leguminosas como la arveja, asciende al 180%. La cantidad de agua absorbida por las diferentes especies va a depender de las sustancias de reservas que contengan, por lo general aquellas que contengan endospermo amiláceo tiene un grado de hidratación menor que las que presentan endospermo proteico, altamente hidratante. El agua penetra a través de los tegumentos, la micrópilo, la lente (estrofiolo), las paredes y las membranas celulares y se liga por uniones de hidrogeno de dos coloides y otras sustancias eléctricamente cargadas.

Al inicio el ingreso de agua es rápido, las macromoléculas y estructuras se rehidratan y recuperan sus formas funcionales, durante este periodo, los solutos de abajo peso molecular pueden perderse desde la semilla. El ingreso de agua en

una semilla tiene tres fases o etapas: una fase I rápida inicial, una fase II meseta y una fase III rápida, que corresponde con el periodo de elongación del embrión o de la radícula, la duración de cada fase va a depender de las características de la semilla (tamaño, contenido de sustratos hidratables, permeabilidad de la cubierta seminal, toma de oxígeno etc.), (Cortis, 2013).

Paralelamente a la imbibición y como consecuencia de esta se reactiva la actividad respiratoria en la semilla. La tasa de imbibición se ve afectada por factores que pueden determinar la respuesta a la germinación de las semillas como:

I. Permeabilidad de la cubierta seminal

El caso más evidente, es la cubierta de las semillas son totalmente impermeables al agua, como las semillas duras de leguminosas, de algodón, etc., sin embargo, también existe la penetración de agua es restringida y no impedida.

II. Concentración de sales del agua

La imbibición es más rápida cuando la semilla está en contacto con agua pura, que cuando el agua contiene soluto. El principio que opera es el de presión de difusión del agua. De aquí que las semillas absorben agua más lentamente en suelos secos o salinos, no solo porque hay menos agua, sino que también es causa de una menor presión de difusión del agua.

III. Temperatura

El calor es una forma de energía. Cuando se calienta el agua que está en contacto con la semilla, la energía suministrada se invierte en aumentar la difusión de agua, por lo tanto, aumenta la tasa de absorción de agua, dentro de ciertos límites. Se ha encontrado experimentalmente que un aumento de 10°C en la temperatura duplica la tasa de absorción al inicio del proceso de imbibición.

IV. Presión Hidrostática

Conforme el agua penetra en las semillas, esta provoca un aumento de volumen y presión en las membranas celulares. Igualmente, las membranas celulares

oponen resistencia de igual magnitud, la que resulta en un aumento de la presión de difusión de agua interna, aumentando su difusión hacia afuera y por lo tanto disminuyendo la tasa de absorción de la semilla.

V. Área de la semilla en contacto con agua

Considerando otros factores constantes, la tasa de absorción de agua es proporcional a la magnitud del área de las semillas en contacto con el agua. En algunas clases de semilla ciertas regiones son más permeables que otras. Ejemplo, el hilo en las semillas de leguminosas.

VI. Fuerzas intermoleculares

Son en general fuerzas de naturaleza eléctrica. Cualquier aumento en estas fuerzas disminuyen la presión de difusión de agua y por tanto la tasa de absorción de las semillas, el efecto de estas fuerzas es más evidente en el suelo. Suelos de bajo contenido de agua sujetan tenazmente la humedad mediante fuerzas intermoleculares.

VII. Absorción diferencial por órganos de la semilla

Las semillas están compuestas de diversos órganos. Estos se pueden agrupar, arbitrariamente en las de cubierta seminal (testa, pericarpio, etc.), en tejidos nutritivos de reserva (cotiledones, endospermo, perisperma, etc). Y en el eje embrionario (compuesto de radícula, plúmula y estructuras asociadas.).

Algunas especies, como *Pseudotsuga menziesii*, absorben en un tiempo de imbibición de 14 horas mayor cantidad de agua y se estabiliza entre 14 y 17 horas, antes de 24 horas, la mayoría de las semillas muestran rompimiento longitudinal (Mapúla *et al.*, 2008). En *Hibiscus sabdariffa* L, la hidratación o absorción de agua es rápida, de las 10 a 19 horas de inmersión llega a su saturación (Domínguez *et al.*, 2007).

Moreno *et al.*, (2006), señala que la hidratación de la semilla está influenciada directamente por la testa y su permeabilidad, el tejido de reserva absorbe agua a una velocidad intermedia hasta completar su hidratación, dependiendo de la

morfología y de la calidad de la semilla; en semillas de leguminosas como frijol que al tener una testa más gruesa hace que la absorción de agua sea por mucho más lenta y por tanto la germinación también es más lenta durante el proceso de imbibición- germinación.

Segunda fase: Actividad enzimática

En esta fase ocurren dos fenómenos fundamentales para la germinación. El primero es la reactivación de las enzimas, inactivadas por la extrema desecación y, el segundo, la síntesis de otras inexistentes.

Para iniciar el crecimiento del embrión las reservas de la semilla se movilizan, convertidas en la forma insoluble a la soluble, o a formas derivadas transportables y/o metabolizables. El sistema mejor estudiado es indudablemente del endospermo de los cereales.

Durante la germinación, se producen enzimas como amilasa y maltasas las que romperán el endospermo amiláceo a glucosa, estas enzimas son producidas en la capa de aleurona que rodea al endospermo. Las experiencias realizadas demuestran que el embrión sintetiza Giberelinas que desatan este proceso.

Una vez incorporada cierta cantidad de agua el cual va a depender de cada especie, inicia la segunda fase que es la de activación metabólica, es donde predominan los procesos catabólicos, se activan las enzimas para el desdoblamiento y movilización de las reservas almacenadas en el embrión, endospermo o polispermo hacia el eje embrionario donde el tejido quiescente se vuelve metabólicamente activo (Hincapié *et al.*, 2010).

Leprince *et al.*, (2000), explican que existe un punto donde la cantidad de agua presente en las células promueve procesos irreversibles de la germinación, como es la movilización de reservas, como almidón y lípidos; así como, Egli y TeKrony (1997) afirmaron que son transformadas enzimáticamente para formar compuestos solubles movilizados al embrión.

García *et al.*, (2001), concluyen que existen cuatro etapas y destaca que si en las dos primeras fases de germinación los procesos son reversibles, a partir de la fase de crecimiento (fase III) se entra a una situación fisiológica irreversible, es decir, la semilla que haya superado la fase de germinación tendrá que pasar a la fase de crecimiento y originar una plántula, o por el contrario morir.

Tercera fase: Elongación de tejido.

Llamada también como fase de elongación de tejido de crecimiento o germinación propiamente dicha se inicia al producirse elongación celular, división celular (Pérez *et al.*, 1984) y ruptura de la testa a través de la cual se observa salida de la radícula (Suárez y Melgarejo, 2010).

Esta es la última fase de la germinación, paralelamente al incremento de la actividad metabólica, se produce el crecimiento y emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales. Una vez la semilla ha alcanzado la fase de crecimiento no pueden volver a etapas anteriores y en el caso de que las condiciones del medio no permitan que esta fase pueda seguir adelante, la semilla morirá. Una vez que la radícula ha roto las cubiertas seminales, se inicia el desarrollo de la plántula, proceso complejo y variable según las especies, que implican un elevado gasto de energía que se obtiene mediante la movilización de las reservas nutritivas de la semilla.

Al iniciar esta etapa de la germinación, los materiales de reserva complejos son solubles e inmóviles. Después de ser digeridos pasan a ser simples, solubles y aprovechables por el embrión (Correa, 1990).

García *et al.*, (2001), mencionan que durante esta cuarta fase es cuando da lugar a una disminución notable en la respiración, la cual llega a coincidir con la desintegración de los cotiledones después de que este ha explotado las reservas almacenadas.

Elongación de tejido con relación a la germinación y vigor de la semilla.

La germinación se inicia con la imbibición y termina con la emergencia. La imbibición es la toma de agua por parte de la semilla seca, sin importar si esta se encuentra viable o no y la emergencia es el proceso por el cual el eje embrionario en especies dicotiledóneas o radícula en monocotiledóneas crece, se extiende y atraviesa las estructuras que lo rodean (Azcón y Talon, 2003).

La germinación de semillas puede ser definida como una serie de acontecimientos metabólicos y morfogenéticos que tienen como resultado la transformación de un embrión en una plántula que sea capaz de valerse por sí sola y transformarse en una planta adulta. En la germinación se dan procesos secuenciados y sincronizados, en un esquema tan organizado que los procesos anabólicos y catabólicos, son simultáneos (Barceló *et al.*, 1987); está influenciado tanto por factores internos como externos. Mientras que desde la perspectiva fisiológica se refiere a si la semilla contiene o no cualquier tejido con actividad metabólica, y si posee reservas energéticas y enzimas para el funcionamiento de las células de la planta (Moreira *et al.*, 1992).

Dentro de los factores internos están la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dormancia, que es definida como la capacidad de las semillas para retrasar el proceso de germinación hasta que las condiciones ambientales sean ideales, que permitan los mecanismos de sobrevivencia de las plántulas (Coopeland y McDonald, 1995).

Fenner (1992), menciona que la dormancia puede ser clasificada en primaria y secundaria:

Dormancia primaria. Es el tipo de dormancia más común en el que se puede encontrar las semillas, está dado por factores exógenos y endógenos.

Dormancia exógena: hace referencia a las condiciones ambientales básicas que determinan el proceso de germinación como disponibilidad de agua, luz y temperatura. Algunas familias como *Fabaceae*, *Malvaceae*, *Chenopodiceae* y *Liliaceae* presentan problemas de permeabilidad del agua y son conocidas como

semillas duras (Coopeland y McDonald 1995). El efecto de la testa puede ser mecánico, o químico debido a la presencia de inhibidores fenólicos, impidiendo el flujo necesario de agua y oxígeno para la germinación.

Dormancia endógena: es el tipo de dormancia que es inherente a las características internas de la semilla, entre estos se encuentran: dormancia por embriones rudimentarios, dormancia por inhibición metabólica y dormancia osmótica:

Por embriones rudimentarios. En algunas especies el proceso de maduración morfológica del embrión ocurre después del proceso de dispersión, lo cual se convierte en un tipo de dormancia porque el embrión inmaduro es incapaz de germinar, algunas especies como *Ranunculus*, *Plantago*, *Fraxinus*, *Viburnum*, *Ilex* y *Pinus* presentan este tipo de dormancia que se caracteriza por la maduración del embrión días o semanas después del proceso de dispersión (Coopeland y McDonald, 1995).

Por inhibición metabólica. Algunos compuestos presentes inhiben vías metabólicas específicas; por ejemplo, la presencia de cianuro en algunas semillas actúa inhibiendo la germinación debido a que bloquea la cadena de transporte de electrones en el proceso respiratorio; sin embargo, en muy altas concentraciones el cianuro promueve el proceso de germinación (Coopeland y McDonald, 1995).

Por inhibición osmótica. Algunas sustancias poseen alta presión osmótica que inhiben el proceso de germinación en semillas. Compuestos como azúcares o sales en concentraciones altas pueden ser buenos competidores por la disponibilidad de agua con las semillas lo cual lleva a que el proceso de imbibición en semillas no se complete y esta no pueda germinar (Coopeland y McDonald, 1995).

Dormancia secundaria. Algunas semillas no dormantes encuentran condiciones que generan posteriormente la inducción a la dormancia. Este tipo de situaciones puede ser causado por la exposición de la semilla a condiciones que favorecen la

germinación junto con la exposición a un factor que bloquea y restringe el proceso de germinación. Ejemplos de este tipo de dormancia es reportado en semillas de variedades de trigo de primavera y cebada de invierno en el que la dormancia secundaria puede ser inducida luego de una exposición de las semillas deshidratadas a temperaturas entre 50°C a 90°C, o el almacenamiento durante siete días de semilla de trigo de primavera en condiciones de alta humedad (Coopeland y McDonald 1995).

La técnica recomendada para evaluar el vigor de las semillas es la conductividad eléctrica (Vieira *et al.*, 2004), variable que resulta sensible para detectar el deterioro de la semilla provocado por causas naturales (edad, T °C, humedad en el almacenaje) o por daño mecánico a través de roturas, grietas producidas durante el transporte y/o siembra. Antecedentes señalan que durante el deterioro, el vigor es el primer componente de la calidad de la semilla que se pierde, seguido por disminuciones en la capacidad de germinación y en la viabilidad (Trawatha *et al.*, 1995).

Para Ferguson (1995), la prueba de germinación ofrece información suficiente sobre el desempeño de un lote de semillas, cuando este es de baja calidad. Un lote que no presente dormición y con un 70 por ciento de germinación, seguramente se comportara presentando una baja emergencia a campo y se deteriorara rápidamente en el almacenamiento en condiciones desfavorables. Nicasio *et al.*, (2001) mencionan que los tratamientos pre-germinativos también afectan el porcentaje final de la germinación, el tiempo y la velocidad máxima de germinación, en diferentes especies de maíz.

Viabilidad

Cuando se habla de viabilidad de una semilla, se refiere a si su embrión está vivo o no. Es decir que la viabilidad de la semilla es la capacidad que tiene de germinar y generar una planta. Un lote de semillas no pierde su viabilidad de forma repentina. La proporción de semillas capaces de germinar disminuye

progresivamente a lo largo del tiempo. Las condiciones del almacenamiento (fundamentalmente la temperatura y la humedad) afectan esta capacidad de mantenerse viables (vivas). Así también el manipuleo durante la cosecha y el transporte pueden afectar la viabilidad de las semillas en la medida que se daña la testa.

Una prueba sensible y directa para evaluar la integridad del sistema de membranas es la conductividad eléctrica, ya que la este procedimiento es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. (Salinas *et al.*, 2001).

La prueba de Conductividad Eléctrica (CE) se basa en el principio de que la reducción de la permeabilidad las semillas es mayor mientras más deterioro tienen las membranas diferenciales, de manera que al ser colocadas en una solución acuosa la semilla menos vigorosa sufre una pérdida de compuestos citoplasmáticos como aminoácidos, iones y azúcares de bajo peso molecular (Alizaga, 1989).

Mediante el aumento de la CE se ha reportado que existen altas concentraciones de sales o sustancias químicas liberadas en la solución; posiblemente causan estrés osmótico durante la germinación y el crecimiento de las plántulas, como un estímulo de la germinación en las concentraciones más bajas, las cuales poseían bajos valores de CE y una tendencia a disminuir con el incremento de la concentración (valores altos de CE) hasta tornarse inhibitor, en las concentraciones más altas también el número de plántulas disminuyó en el tiempo con el incremento de la concentración del extracto (Garsaball *et al.*, 2006)

Schmidt y Tracy (1989), mencionan que durante la imbibición se presenta una lixiviación de sustancias desde la semilla y estas sustancias son principalmente potasio, fosfatos, azúcares y aminoácidos, la cantidad de estos electrolitos es medida por la conductividad eléctrica.

La medición de los electrolitos en el agua provee un simple y rápido método para determinar la liberación de solutos desde la semilla durante la primera fase de la germinación.

Powell (1988), consideró que la integridad de las membranas celulares determinada por los cambios bioquímicos deteriorativos y la capacidad para reorganizar y reparar los daños, sería la causa fundamental de las diferencias en el vigor de las semillas, que son medidas en forma a través de la lixiviación de electrolitos durante la prueba de conductividad eléctrica.

Germinación

Es recomendable utilizar semilla que logre una rápida y uniforme germinación en el campo, para conseguir una adecuada emergencia y cobertura del suelo lo antes posible, ganándole a las malezas y minimizando las pérdidas de semilla por depredadores (insectos del suelo, roedores, pájaros). En este sentido es importante que la semilla tenga un alto poder germinativo.

Poder germinativo, es el porcentaje de semillas que germinó y desarrolló plántulas normales, cuando se colocó en condiciones ambientales óptimas para llevar a cabo los análisis (ISTA, 1999), en algunas especies se utiliza como lecho germinativo o sustrato papel (papel de filtro, papel secante o toallas de papel), mientras que en otras se hace sobre arena.

Los análisis que determinan el poder germinativo de una muestra de semillas se denomina “Ensayos de germinación”. Se hace respetando las condiciones de temperatura, luz, sustratos y técnicas de ruptura de latencia, que establecen las reglas ISTA (2019).

Importancia de la germinación como parte de la calidad

La calidad física representa 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 (Castañeda *et al.*, 2009).

La calidad fisiológica comprende aquellos atributos intrínsecos que determina su capacidad para germinar y permitir la expresión de poblaciones uniformes de plantas productivas bajo una amplia variación de condiciones ambientales (Andrade, 1992).

En trigo la mayor viabilidad y germinación se presenta poco antes de la madurez fisiológica, mientras que el máximo vigor se expresa justo en la madurez fisiológica (Tekrony y Egli, 1997). El primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor, seguido por una reducción de la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente de la muerte de las semillas (Ferguson, 1995). El vigor es el factor más importante de la calidad fisiológica de la semilla (Deloach, 1979; ISTA, 2005).

La presencia de diferentes tipos de estrés ambiental durante la formación de la semilla influye en su calidad. El estrés hídrico (Dornbos *et al.*, 1995; Ghassemi *et al.*, 1997), las deficiencias de minerales y las temperaturas extremas (Franca *et al.*, 1993; Grass y Burris, 1995) son los más comunes y de mayor efecto en la calidad de la semilla. Las deficiencias hídricas durante el llenado de grano pueden reducir la germinación de la semilla (Heatherky, 1993), causar 100 por ciento de arrugamiento de la testa de la semilla y disminuir significativamente el peso y vigor (Franca *et al.*, 1993).

Una semilla de calidad es una semilla altamente viable, es decir es una semilla susceptible de desarrollar una planta normal aún bajo condiciones ambientales no ideales, tal como puede ocurrir a campo.

Vigor

Es la condición de un lote de semillas con capacidad para producir plántulas en un amplio rango de condiciones ambientales. Las semillas deben germinar en situaciones de siembra desfavorables. El lote debe tener un buen estado sanitario y viabilidad que asegure un buen comportamiento en el campo.

En el laboratorio la condición de vigor es evaluada mediante diversas pruebas diseñadas específicamente para medir la capacidad de germinación de una muestra luego de haber sido sometida a un estrés determinado. Existen varios ensayos que se basan en distintas características como por ejemplo, el ensayo de crecimiento y evaluación de plántulas (trigo, cebada, maíz); prueba fría (maíz); conductividad eléctrica, envejecimiento acelerado, entre otros.

La técnica recomendada para evaluar el vigor de las semillas es la conductividad eléctrica (Viera *et al.*, 2004), variable que resulta sensible para detectar el deterioro de la semilla provocado por causas naturales (T° C, humedad en el almacenaje) o por daño mecánico a través de roturas, grietas producidas durante el transporte y/o siembra.

La información hallada señala que durante el deterioro, el primer componente de la calidad que se pierde es el vigor, seguidos por la disminución en la capacidad de la germinación y en la viabilidad (Trawatha *et al.*, 1995).

Preacondicionamiento

La investigación ha demostrado que la calidad de la semilla está determinada genéticamente por (procesos fisiológicos de acondicionamiento), aunque hay otros factores involucrados, como la nutrición, la salud de la planta madre y las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, dado que la disminución de la viabilidad y la pérdida de la capacidad de germinación aún no están claramente explicadas, hay investigar si el comportamiento puede revertirse con tratamientos antes de la siembra que reduzcan el tiempo requerido para la radicación de la germinación y la emergencia de las plántulas, que juntos se denominan preacondicionamiento (Nicasio *et al.*, 2011)

El preacondicionamiento es un tratamiento pre-germinativo que es aplicado principalmente a semillas agrícolas colocándolas por tiempo determinado en soluciones osmóticas o en matrices sólidas, de manera que puedan absorber agua y soluciones e iniciar los procesos metabólicos que dan lugar a la fase temprana

de la germinación, pero previene la protrusión de la radícula (Heydecker *et al.*, 1973); las semillas ortodoxas durante el desarrollo, cerca de la madurez presentan la capacidad de reducir el contenido de agua en los tejidos sin afectar la viabilidad. A esta característica se le conoce como tolerancia a la desecación (Rangel *et al.*, 2014).

Existen varios métodos de preacondicionamiento que pueden clasificarse en osmóticos, matricial, estrés hídrico (Heydekernet *et al.*, 1973; Taylor, 1981, y Ashraf 2000; Artola *et al.*, 2010; Sánchez y Muñoz, 2010).

Los tratamientos de preacondicionamiento pueden utilizarse para los fines siguientes: incrementar la germinación en temperaturas de semillas subóptimas y supraóptimas, acelerar y sincronizar la germinación, estimular el sistema radicular, Incrementar la resistencia o tolerancia de las plantas en condiciones de estrés biótico y/o abiótico, y aumentar la producción (Ramírez, 2016), también se sabe que puede ayudar a promover la sincronización e incrementan la velocidad de germinación de la población de semillas. En algunas especies el preacondicionamiento también aumenta la velocidad de crecimiento y el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas durante su establecimiento aun en condiciones ambientales adversas (McDonald, 2000; Sánchez *et al.*, 2001; Badola, 2004).

Sánchez (2001), menciona que existen tratamientos para el preacondicionamiento de semillas que permiten reducir el tiempo que existe entre la siembra y la emergencia de las plántulas y así mejorar la sincronización de emergencia en campo. Por otro lado (Zamora *et al.*, 2015) mencionan que si existe una alta correlación positiva y significativa entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica cualquiera de ellas puede usarse como un indicador para la otra.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se efectuó en el Laboratorio biotecnología-cultivo de tejidos Vegetales perteneciente al departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; cuyas coordenadas son 101° Longitud Oeste y 25°22´ Latitud Norte, a una altitud de 1742 m.s.n.m.

Material genético

Se evaluaron ocho líneas experimentales y dos variedades comerciales de trigo, las líneas experimentales fueron proporcionadas por el Programa de Cereales de la UAAAN y producidas en el ciclo 2016-2017 en la localidad de Zaragoza, Coahuila. Dichos materiales se identificaron como:

IDENTIFICACION	MATERIAL GENETICO
G1	Pelón Colorado
G2	Candeal
G3	AN-343-09
G4	AN-344-09
G5	AN-350-09
G6	AN-360-09
G7	AN-361-09
G8	AN-366-09
G9	AN373-09
G10	AN-394-09

Metodología

El presente estudio se realizó en dos fases; 1) Consistió en la preparación del material y evaluación de la primera etapa del proceso de germinación a través de la Tasa de Imbibición (TI) y la determinación de la viabilidad de la semilla mediante la Conductividad Eléctrica (CE); y como 2) Segunda fase, se evaluó la calidad fisiológica con la prueba de capacidad de germinación, y el vigor con las pruebas de Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y tasa de crecimiento de plántula con el Peso Seco (PS).

Primera fase

Para la preparación de las muestras; se determinó el contenido de humedad inicial de cada genotipo con el equipo GAC 2100, registrando el dato en porcentaje y se procedió a la realización de las pruebas de tasa de imbibición (TI).

Tasa de Imbibición (TI)

Se realizó un conteo manual y peso inicial (tiempo cero) de 100 semillas en cuatro repeticiones por material genético, con ayuda de una balanza analítica marca Explorer Pro Ohaus de 0.0001 g de precisión.

Se colocó cada repetición por genotipo en un vaso de polipropileno de 200 mL y se agregaron 100 mL de agua destilada des-ionizada por vaso (Figura 3.1), se dejaron imbibir por dos horas a temperatura ambiente ($24 \pm 1^\circ\text{C}$), una vez pasadas las dos horas, se determinó el volumen de agua absorbido con una probeta graduada y se procedió a realizar la captura de datos de peso adquirido de cada repetición-genotipo (Figura 3.1).

Una vez hecha la evaluación, se regresó el volumen de agua a cada vaso con la semilla correspondiente de cada repetición-genotipo; y se dejó nuevamente a temperatura ambiente, este proceso se realizó cada dos horas hasta observar una

germinación fisiológica del 50% más uno en cada repetición, es decir al obtener una protrusión radicular en más de cincuenta semillas.

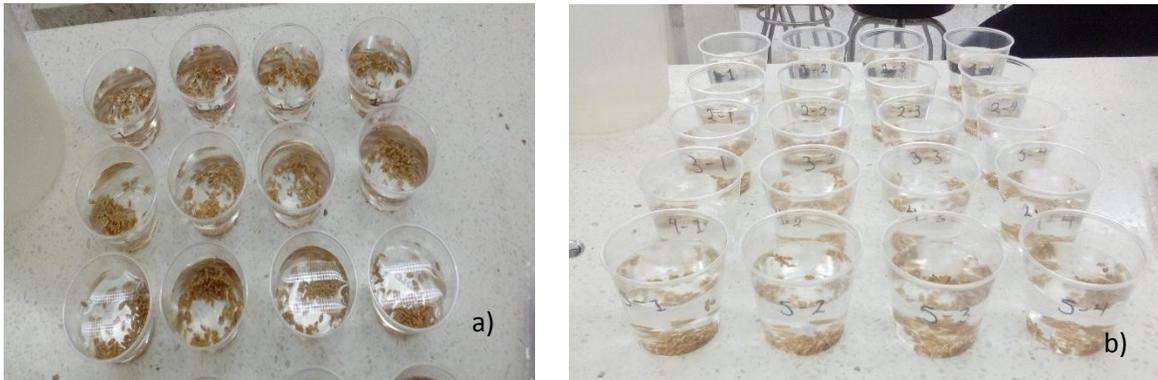


Figura 3. 1. Evaluación de volumen y peso de los materiales genéticos de trigo forrajero, a) Imbibición de materiales genéticos de trigo forrajero, b) Evaluación del volumen y peso de los materiales genético de trigo forrajero.

Se calculó la tasa de imbibición (TI) con los datos registrados de peso inicial, el contenido de humedad de la semilla y los pesos adquiridos de cada tiempo; aplicando la ecuación de Weibull (Domínguez *et al.*, 2007) con la fórmula:

$$\text{Tasa de imbibición} = A_{ad} \frac{W_f - W_i}{W_i \left(1 - \frac{H_i}{100}\right)}$$

Donde:

Wf= Peso adquirido Wi=Peso inicial Hi=contenido de humedad de semilla

A ad= cantidad de agua absorbida

Segunda fase

Para la realización de la segunda fase, se inició a partir de la emergencia, realizando la prueba de capacidad de germinación, conforme a la ISTA (2009), sembrando en hojas de papel "anchor" 38 X 25.6 cm previamente humedecido, 100 semillas al azar de cada repetición-genotipo (teniendo ocho repeticiones por cada genotipo), colocando 25 semillas en una línea central de la hoja (Figura 3.3), cubriendo con otra hoja y enrollando a formar un "taco" (Figura 3.3).



Figura 3. 2. Realización de prueba de capacidad de germinación de los materiales genéticos de trigo forrajero.

Una vez hechos los tacos se colocaron en bolsas de polietileno y se colocaron en una cámara de germinación marca Biotronette Mark III a una temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, con 8 horas luz y 16 oscuridad, a los cuatro días después de la siembra se realizó un primer conteo registrando el número de plántulas normales; y a los siete días un segundo conteo, se registró el número de plántulas normales, anormales y semillas sin germinar.

En este séptimo día, también se determinaron las pruebas de vigor: LMP, LMR y PS, a partir de las plántulas consideradas como normales.

Variables evaluadas en la segunda fase

Dentro de la prueba de **Capacidad de germinación** se evaluaron las plántulas normales, anormales y semillas sin germinar, registrando el número y determinando el porcentaje de cada uno:

Plántulas Normales (PN)

Las plántulas normales mostraron todas sus estructuras esenciales y un desarrollo balanceado. Para esta variable se realizaron dos evaluaciones, la primera tomando como indicador de vigor al cuarto día, considerando solo a las plántulas que tenían la primer hoja y se encontraba lleno el coleóptilo (Figura 3.4 a), y el segundo conteo se realizó al séptimo día (Figura 3.4 b), conforme el manual de evaluación ISTA (1992), considerando a las plántulas normales, que tuvieran tres veces el tamaño de la semilla tanto en plúmula como en radícula.

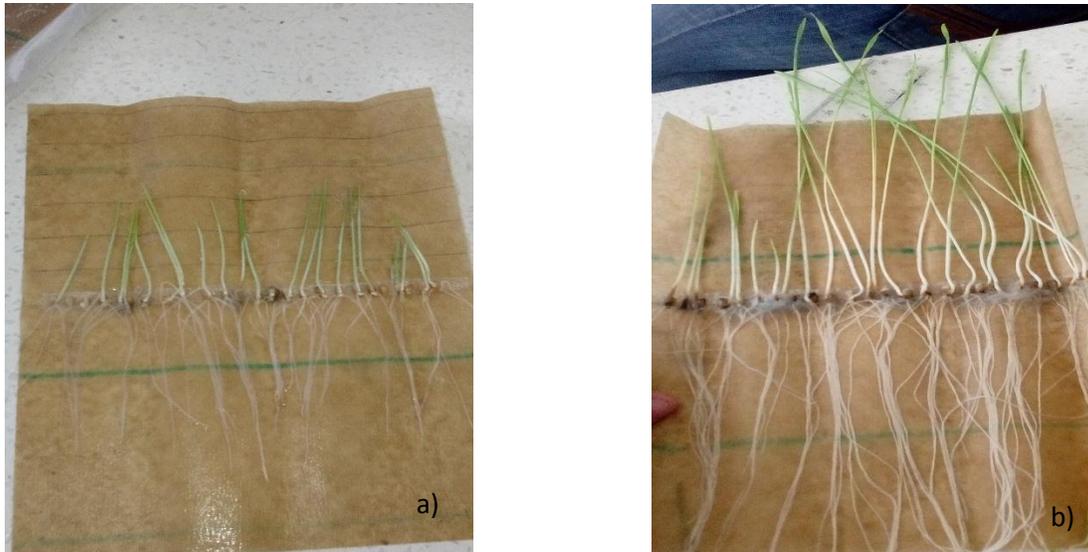


Figura 3. 3. Prueba de capacidad de germinación de los materiales genéticos de trigo forrajero, a) Plántulas anormales, b) plántulas normales.

Plántulas Anormales (PA)

La evaluación de esta variable fue a los siete días después de la siembra, considerando a una plántula anormal si tuvo raíces muy cortas, atrofiadas, débiles, dañadas o con el coleóptilo muy corto, grueso en forma de S o deforme (Figura 3.4 b).

Semillas Sin Germinar (SSG)

Para esta variable, se determinó a los siete días después de la siembra, se consideró aquellas semillas que no tuvieron desarrollo de raíz y plúmula, es decir, no haber germinando.

Vigor

El vigor de la semilla de cada genotipo, se realizó mediante las siguientes pruebas:

Longitud Media de Plúmula (LMP)

Esta estimación se realizó en ocho repeticiones de 25 semillas de cada genotipo, conforme a la metodología de Perry (1977); se trazaron líneas horizontales equidistantes cada 2.0 cm a partir de la mitad de una hoja de papel “anchor” de 38 X 25.6 cm, sembrando las 25 semillas en la línea inicial, se cubrieron con otra hoja y se enrollaron a formar un “taco”, se colocaron en bolsas de polietileno y se llevaron a una cámara de germinación marca Biotronette Mark III a una temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, con 8 horas luz y 16 oscuridad, a los siete días se evaluó la prueba, haciendo un conteo de las plántulas normales e identificando el número de plúmulas ubicadas en cada paralela (Figura 3.5), se registró el dato y se calculó el resultado de esta variable.



Figura 3. 4 Prueba de longitud media de plúmula de los materiales genéticos de trigo forrajero.

El número de plúmulas entre cada paralela se multiplicó por la correspondiente distancia promedio de paralela (1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13), se sumó y dividió entre el número de semillas sembradas (25) en la prueba como se representa en la siguiente fórmula:

$$LMP = \frac{(nx1 + nx3 + nx5 + \dots + nx13)}{25 \text{ semillas}}$$

Donde:

LMP= longitud media de plúmula en cm, registrado en cm pl^{-1}

n= número de plúmulas normales entre dos paralelas

x= distancia del punto medio de paralelas a línea central (1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13).

Longitud Media de Radícula. (LMR)

Para la realización de esta variable, se consideraron 10 plántulas normales al azar de la prueba anterior de cada repetición y genotipo, midiendo con una regla graduada la longitud de la radícula principal y registrando el dato en centímetros por cada plántula.

Tasa de crecimiento de plántula mediante Peso seco (PS)

Se evaluaron todas las plántulas normales de cada “taco” o repetición de cada genotipo de la longitud media de plúmula, eliminando resto de cariósipide y colocando las plúmulas y radículas de cada repetición en una bolsa de papel estraza, luego fueron llevadas a una estufa de secado Marca Felisa ®, a una temperatura de 65 °C durante 24 horas (Figura 3.6), al término de tiempo, se enfriaron y pesaron en una balanza analítica marca Explorer Pro Ohaus de 0.0001 g de precisión, por último se registró el dato en mg pl⁻¹.



Figura 3. 5. Prueba de Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco) de los materiales genéticos de trigo forrajero.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1989) con un arreglo factorial completamente al azar, ya que el diseño experimental trabaja bajo el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + P_j + EP_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable observada

μ = Efecto de la media general del experimento

E_i = Efecto del i -ésimo genotipo

P_j = Efecto del j -ésimo tratamiento (presión osmótica)

EP_{ij} = Efecto de la interacción del i -ésimo genotipo con el j -ésimo tratamiento (presión osmótica)

E_{ijk} = Error experimental

Los resultados de los análisis donde se encontraron diferencias significativas se realizaron pruebas de comparación DMS, al 0.05 de probabilidad además de realizar un análisis de Regresión.

Análisis de Regresión

Para el análisis de regresión se utilizó el paquete estadístico JMP versión 5.01, obteniendo la ecuación de la recta en la variable tasa de imbibición, posteriormente realizando la derivada de la segunda función de la ecuación de la recta obtenida para conseguir el valor máximo de la tasa de imbibición en horas.

El modelo general de la regresión se obtiene a partir de la ecuación de la recta:

$$Y = mx + b$$

Mx = Pendiente; b = Ordenada de origen; Y = Ecuación de la recta.

Y para la regresión cuadrática se agrega otro valor para la pendiente al cuadrado:

$$Y = mx^2 + mx + b$$

Obtención del máximo de la función de respuesta

Para la obtención del máximo de la respuesta de la tasa de imbibición se utilizó el método de la segunda derivada, para obtener la existencia o ausencia de un máximo, esto va a depender si las pendientes de las rectas tangentes son positivas o negativas, esto significa que la razón de cambio de la derivada de la función en el intervalo y/o el punto crítico es negativo, el punto crítico corresponde a un máximo. Si por el contrario el punto crítico es positivo este corresponde a un mínimo de la función (Purcell *et al.*, 2007).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de Imbibición

Análisis de varianza de la tasa de imbibición

El análisis de varianza para la tasa de imbibición a través de los tiempos evaluados, reportó alta significancia entre los tiempos y genotipos, pero no se encontró significancia en la interacción de estos dos factores, tal como se reporta en el Cuadro 4.1.

No se pudo realizar una comparación con el trabajo de Reboseño (2018) en lo que respecta a esta variable, ya que él realizó un análisis de varianza para cada tiempo estudiado. Sin embargo, estos resultados permiten establecer que la tasa de imbibición se comportó de manera distinta a través de los tiempos estudiados y lo mismo se puede establecer para los genotipos de este estudio. La ausencia de interacción de genotipo por tiempo se interpreta en el sentido de que los genotipos mostraron un comportamiento similar a través de todos los tiempos que duró la evaluación.

Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia de la tasa de imbibición

FV	GL	CM	SIG
TIEMPO	11	4830.21	<.0001**
REP(TIEMPO)	36	170.594	0.4289
GENOTIPO	9	2861.14	<.0001**
GEN*TIEMPO	99	142.217	0.8172
ERROR	324	165.890	
TOTAL			

Prueba de medias de genotipos

La comparación de medias para la tasa de imbibición en los genotipos evaluados formó dos grupos de significancia, destacando en el primer grupo los genotipos: 5, 1,2, 3 y 4 que mostraron las tasas de imbibición con mayor promedio, el resto de los genotipos se ubicó en el grupo B tal como se aprecia en el cuadro 4.2.

En este aspecto, Reboseño (2018) reportó hasta cuatro grupos de significancia a través de los tiempos evaluados.

Cuadro 4.2 Comparación de medias y agrupación de diez genotipos, en etapa de imbibición.

IMBIBICIÓN POR GENOTIPO		
GENOTIPO	MEDIA	GRUPO
5	56.830	A
1	56.531	A
2	54.575	A
3	54.221	A
4	53.097	A
7	41.631	B
8	41.109	B
6	41.004	B
9	39.951	B
10	39.262	B

Para la fuente de variación tiempos de imbibición, se realizaron análisis de regresión lineal y cuadrática con el fin de estimar la respuesta de la tasa de imbibición a los tiempos, dichos análisis detectaron que la respuesta cuadrática era la más indicada con base en su coeficiente de determinación y significancia; cuyas ecuaciones de tipo cuadrático y sus coeficientes de determinación (R^2) se muestran en el cuadro 4.3, junto con los tiempos máximos obtenidos mediante la segunda derivada y resolución de la primer derivada de acuerdo con Purcell *et al.*, (2007).

De acuerdo con los tiempos máximos detectados, AN-360-09 alcanzó su máxima tasa de imbibición en el menor tiempo (13.98 h), seguido por G7 (AN-361-09), G9 (AN-373-09) Y G10 (AN-394-09) con 14.17, 14.21, y 14.61 horas, respectivamente.

Por otro lado los genotipos que tuvieron más lenta la respuesta al llegar en el punto máximo fueron: G1 (Pelón Colorado) con 20.94 horas, G5 (AN-350-09) con 20.32 horas y G2 (Candeal) con 20.04 horas. Pelón colorado es el progenitor de la mayoría de las líneas evaluadas de forma que con esta información podemos establecer que los genotipos G3 Y G5 son los más parecidos a su progenitor en esta variable.

Reboseño (2018) ha reportado tiempos máximos de imbibición de entre 5.88 y 14.35 horas, aunque los genotipos evaluados por el fueron desarrollados recientemente y los genotipos de este estudio provienen de genotipos denominados criollos, por lo que se esperaba una respuesta diferente como la aquí reportada y que sugiere que los genotipos criollos poseen una tasa de imbibición menor a la que poseen los genotipos mejorados.

Haciendo una nueva comparación directa en la tasa de imbibición ahora con resultado arrojados por Ramírez (2016), muestran una tasa de imbibición máxima a las 12 horas.

Cuadro 4.3 Funciones de respuesta de la variable Tasa de Imbibición, coeficientes de determinación (R²) Y Tiempos en diez genotipos de Trigo.

	GENOTIPO	FUNCION DE RESPUESTA	R²	T MAX
G1	Pelón Colorado	37.30- 2.43 X – 0.058 X²	0.87	20.94 Horas
G2	Candéal	25.00 -3.90 -0.0973 X²	0.98	20.04 Horas
G3	AN-343-09	22.22- 4.20 X- 0.104 X²	0.98	20.19 Horas
G4	AN-344-09	22.85-3.99 – 0.10013 X²	0.98	19.91 Horas
G5	AN-350-09	28.65- 3.70 X- 0.091 X²	0.97	20.32 Horas
G6	AN-360-09	4.620 - 8.70 X- 0.311 X²	0.77	13.98 Horas
G7	AN-361-09	1.066- 7.94 X- 0.28 X²	0.91	14.17 Horas
G8	AN-366-09	1.316- 6.95 X -0.23 X²	0.85	15.10 Horas
G9	AN-373-09	1.48- 7.39 X- 0.26 X²	0.88	14.21 Horas
G10	AN-394-09	0.94- 7.60 X- 0.26 X²	0.87	14.61 Horas

En la Figura 4.1 aparece la tasa de imbibición de AN-360-09 Y AN-361-09 junto con las variedades criollas Pelón Colorado Y Candéal, y se aprecia que los dos primeros genotipos fueron los que presentaron mayor tasa de imbibición a partir de las catorce horas de imbibición, mostrando los máximos ya reportados en el cuadro 4.3, reforzando las diferencias antes mencionadas.

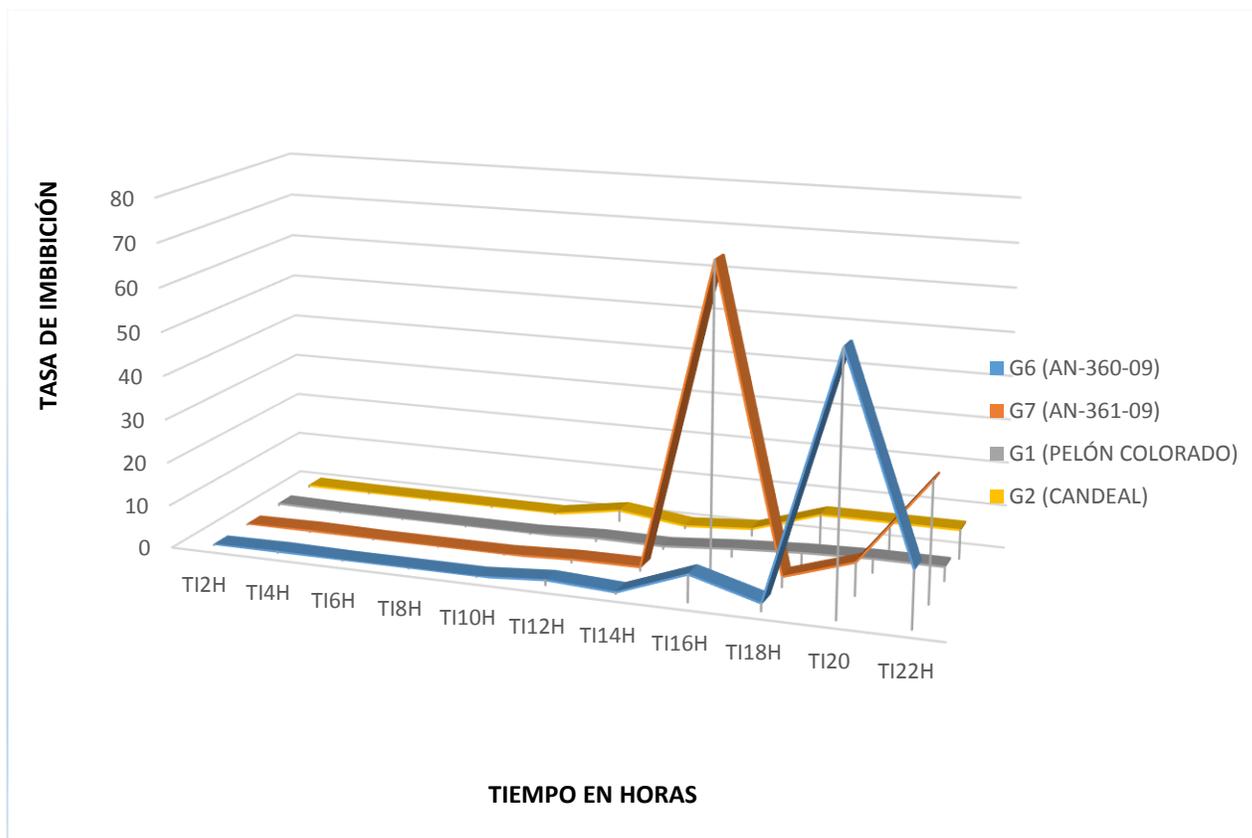


Figura 4. 1. Grafica de comparación de medias en la Tasa de Imbibición de diez genotipos de trigo durante 22 horas.

Capacidad de germinación

En el cuadro. 4.4 Se observan los resultados arrojados en los análisis de varianza y el nivel de significancia para cada una de las variables evaluadas consideradas en capacidad de germinación, por lo cual se muestran las variables Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semilla sin Germinar (SSG). Para PN y SSG se encontraron diferencias altamente significativas entre los genotipos, mientras que en las plántulas anormales no se detectaron diferencias significativas

Estos resultados concuerdan con los de Reboseño (2018), quien también encontró diferencias en PN y SSG pero no en PA al evaluar nueve genotipos de trigo. Esto sugiere que las PA se presentaron de manera independiente de los diversos genotipos estudiados, mientras que PN y SSG fueron características distintivas de los mismos.

Con respecto a los datos arrojados por Ramírez (2016), en su trabajo de investigación, los testigos, los cuales son los mismos evaluados en esta investigación sobresalieron de las progenies en cuanto a capacidad de germinación, aunque no obtuvo una significancia en ninguna variable.

Cuadro 4.4 Cuadros medios y nivel de significancia de las variables Capacidad de Germinación: Plántulas normales (PN), Plántulas anormales (PA) y Semilla Sin Germinar (SSG), en diez genotipos de trigo.

FV	GL	PN	PA	SSG
GENOTIPOS	10	29.96**	1.67	18.71**
ERROR	110	1.88	0.799	1.12
TOTAL	120			

Posteriormente se elaboraron las pruebas de medias para detectar las diferencias establecidas entre los genotipos, cuyos resultados son mostrados en el Cuadro 4. 5, en el cual puede observarse la formación de hasta cinco grupos de significancia en las variables que se describen enseguida:

Para la variable de Plántulas Normales se formaron cinco grupos de significancia, siendo los genotipos 10, 8, 6, 7, y 9 los que se ubicaron en el grupo A, mientras

que los grupos 4, 3, 2 y 5 se colocaron en los grupos B, C y D, y el genotipo 1 (Pelón Colorado) se ubicó como único integrante del último grupo. Esto confirma que todas las líneas evaluadas superaron a dicha variedad comercial, que también es su progenitor.

Para la variable de Plántulas Anormales el análisis de varianza arrojó una diferencia mínima, ya que solo se formaron 3 grupos de significancia, donde los genotipos destacados fueron: 1, 4 y 3 en el grupo A, y los genotipos 2, 5, 9, 6, 7, 8 y 10 se colocaron en los grupos B y C.

Por otra parte en el análisis arrojado para la variable de Semillas Sin Germinar se observó la formación de cuatro grupos estadísticos, destacando el genotipo 1 como el único en el grupo A, los genotipos, 5, 2 y 3 se colocaron en el grupo B y los genotipos 4, 7, 9, 6, 8 y 10 se destacaron en el grupo D.

Reboseño (2018) reportó cuatro grupos de significancia en PN, solo un grupo en PA y cinco en SSG, lo cual indica o sugiere las diferencias respectivas para los genotipos por él evaluados y los de este estudio, en donde se infiere que Pelón colorado fue la variedad que menos PN presentó (77.0%), combinadas con mayores PA y SSG, de los genotipos estudiados.

Cuadro 4.5 Comparación de medias de las variables Capacidad de Germinación, Plántulas normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semilla Sin Germinar (SSG), en diez genotipos de trigo correspondiente al conteo de los siete días.

PN			PA			SSG		
G	MEDIA	GRUPO	G	MEDIA	GRUPO	G	MEDIA	GRUPO
10	24.6667	A	1	1.4167	A	1	4.3333	A
8	24.5000	B A	4	0.9167	B A	5	2.0833	B
6	24.1667	B A C	3	0.7500	B A C	2	1.9167	B
7	23.8333	B A C	2	0.6667	B C	3	1.5833	C B
9	23.7500	B A C	5	0.5833	B C	4	0.8333	C D
4	23.4167	B D C	9	0.5000	B C	7	0.8333	C D
3	23.0833	D C	6	0.3333	B C	9	0.7500	C D
2	22.4167	D	7	0.3333	B C	6	0.5000	D
5	22.3333	D	8	0.2500	B C	8	0.2500	D
1	19.2500	E	10	0.1667	C	10	0.15667	D

Vigor de la Semilla

En las variables de vigor se detectaron diferencias altamente significativas en Longitud Media de Plúmula (LMP), y Peso Seco (PS), pero no se encontró diferencia significativa en Longitud Media de Radícula (LMR), lo cual sugiere todos los genotipos de trigo mostraron una longitud de radícula similar, pero con PS y LMP diferente (Cuadro 4.6). Este resultado pudiera interpretarse como una característica distintiva de los genotipos criollos, que muestran capacidad radicular similar, pero difieren en su plúmula y peso seco. Mientras que Reboseño (2018) si encontró alta significancia en todas estas variables para los genotipos mejorados que él evaluó.

Cuadro 4.6 Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor, Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS), en semillas de diez genotipos de trigo.

FV	GL	LMP	LMR	PS
GENOTIPOS	10	2.7276**	43.52	37.55**
ERROR	110	1.98	1.98	1.98
TOTAL	120			

Posteriormente se elaboraron pruebas de medias para detectar las diferencias establecidas entre los genotipos cuyos resultados son mostrados en el Cuadro 4.7, en el cual puede observarse la formación de diferentes grupos de significancia los cuales fueron:

Para la variable de Longitud Media de Plúmula se formaron cinco grupos de significancia, siendo los genotipos Candeal y Pelón colorado (genotipos 2 y 1), quienes reportaron las mayores longitudes de plúmula y se ubicaron en el grupo A, mientras que en el grupos B se colocaron los genotipos 3 y 5, que según ésta prueba fueron estadísticamente iguales a Pelón colorado. Para el grupo C, se destacaron los genotipos: 4, 6, 9 y 7, el genotipo 10 se ubicó en el último lugar de grupo E.

Para la variable de Longitud Media de Radícula la prueba de medias formo dos únicos grupos, en los cuales los genotipos 4, 7, 10, 8, 9 y 6 destacaron para el grupo A. Pelón colorado y Candeal se ubicaron en las últimas posiciones del grupo B (genotipos 1 y 2). Estos resultados junto con los de LMP permiten caracterizar a las variedades comerciales como genotipos con alta LMP y baja LMR.

Por otra parte en la prueba de medias para la variable de Peso Seco se observó la formación de dos grupos estadísticos, destacando los genotipos 1, 4, 7, 10, 3, 9, y 8 en el grupo A, los genotipos 5, 6 y 2 se colocaron en las últimas posiciones del

grupo B. resalta el hecho de que las variedades comerciales se ubicaron en los extremos de esta prueba (Pelón colorado con la media más alta y Candéal con la menor media), sugiriendo la mayor capacidad que posee Pelón colorado para incrementar su peso seco en comparación de Candéal.

Para estas mismas variables, Reboseño (2018) reportó la integración de cuatro grupos en LMP, cinco en LMR y cuatro en PS, sugiriendo una mayor diversidad en los genotipos que él estudió.

Cuadro 4.7 Comparación y agrupamiento de las variables de Vigor, Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS), en semillas de diez genotipos de trigo.

LMP			LMR			PS		
G	MEDIA	GRUPO	G	MEDIA	GRUPO	G	MEDIA	GRUPO
2	11.5168	A	4	18.903	A	1	15.107	A
1	11.4788	B A	7	16.428	B A	4	11.154	B A
3	10.1698	B C	10	15.651	B A	7	10.970	B A
5	10.0735	B C	8	15.849	B A	10	10.918	B A
4	9.9051	D C	9	15.284	B A	3	10.579	B A
6	9.6697	D C E	6	14.425	B A	9	10.436	B A
9	9.0590	D C E	3	12.892	B	8	10.401	B A
7	8.9559	D C E	5	12.368	B	5	9.934	B
8	8.5917	D E	2	11.796	B	6	9.103	B
10	8.3631	E	1	11.225	B	2	7.720	B

V. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se concluye que:

- Las variedades Pelón colorado y Candeal, mostraron mayores promedios en su tasa de imbibición, sin embargo, la tasa máxima la obtuvieron las progenies en menor tiempo.
- AN-360-09 Y AN-361-09 mostraron una tasa de imbibición superior a la de Pelón colorado y Candeal.
- En la germinación, AN-360-09 y AN361-09 resultaron superiores a las variedades comerciales, pero las variedades reportaron mayor vigor con LMP.
- Se sugiere un estudio comparativo entre genotipos mejorados y criollos para verificar si estadísticamente se demuestra la existencia de diferencias en los tiempos máximos de imbibición.

VI. LITERATURA CITADA

- Alizaga, R. 1989. Avalicao de testes de vigor em sementes de feijao e sus relacoes com a emergencia a campo. Tesis M. Sc. Rio Grande do Soul, Universidade Federal de Pelotas, Facultad de Agronomía, 62 pag.
- Andrade, B.J.H. 1992. Mejoramiento del vigor en semillas de maíz y su relación con la emergencia y rendimiento. Tesis de Maestria en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 98 p.
- Ashraf, M. Nassin F. and Hussain, M.M. 2001. Efflux of inorganic ions in leachates of wheat seed. OnLine Journal of Biological Sciences Vol.1.Nº 1, pag 1-3.
- Azcon-Bieto, J. y M. Talón. 2003. Fundamentos de fisiología vegetal. 3ª reimpression. McGraw-Hill Interamericana. 450 p.
- Azcon-Bieto J, Talón M. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, McGraw-Hill, Interamericana, 2000.
- Bailly, C. 2002. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seeds. Sci. Res. 14, 93-107.
- Barbedo, C y D. Bilia.1998. Evolución of research on recalcitrant seeds. Sci. Agric. Piracicaba 55(número especial), 121-125.
- Bewley J. y Black M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds on relation to germination. Vol. 2. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag, Berlin.
- Bewley, J.D. y M. Black. 1994. Seeds: physiology of develoment and germination. Plenum Press, New York. 445 p.
- Bishaw, Z.; Niane A. A. and Gan, Y. 2007. Quality seed production. In: Lentil: an ancient crop for modern times. Yadav, S. S. (Eds). Springer. Holanda 349-383 p.

Butola, J. & Badola, H. 2004. Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in *Angelica glauca*, a threatened medicinal herb. *Current science*. 87. 796-799.

Black, M. y H. Pritchard. 2002. *Desiccation and plant survival*. CABI Publishing. 399 p.

Calderini, D.F Dreccer, M.F & Slafer, G. A. 1997. Consequences of plant breeding on biomass growth, radiation interception and radiation use efficiency in wheat. *Field Crops Research*. 52,271-281.

CANILMOT, 11 de Octubre del 2019. En línea. <https://www.canilmot.org/morfologia-de-la-planta/>. Actualización: 19 Noviembre del 2019.

CIMMYT. 24 de Septiembre del 2019. Investigación sobre trigo| CIMMYT. International Maize and Wheat Improvement Center. En línea <https://www.cimmyt.org/es/nuestro-trabajo/trigo/>. Actualización 26 de Octubre de 2019.

Coopeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. *Principles of seed science and technology*. Third edition. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.

Courbineau, F. 2012. Marks of seed quality: from present to future. *Seed Sci. Res.* 22:61-68.)

Colín, R.M.; Lozano, A.J.; G.; Zamora, V.M.; Santana, J.T. y Méndez, V.M. 2004. Producción de materia seca de líneas de cebada forrajera imberbe en cuatro ambientes y correlaciones entre algunos componentes del rendimiento de forraje. Resultados de investigación 2003. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 93-101 pp.

Correa J. 1990. El proceso de la germinación. Seminario taller sobre investigación en semillas (18).

Cortis, A. 2013. Germinación de semillas, cátedra de Fisiología vegetal, Departamento de biología de UNNE, pag 7.

Chai Jianfang, Rong Y. & Yiyang D. 1998; Optimum moisture contents of seeds stored at ambient temperatures. Seed Science Research (United Kingdom).

Clerk E.J. M., Blanketing-De V. H., Rays, G.J., Groot, S.P.C., and Koornneef, M. 2003. Characterization of green seed, an enhancer of *abi3-1* in *Arabidopsis* that affects seed longevity. Plant Physiology, 132 (2), 1077-1084.

Delouche, J. C. 1979. Preparación de programas de semillas. In; mejoramiento de la producción de semillas; manual de formulación, ejecución y evaluación de programas y proyectos de semillas. Feistritzer, W. P y Nelly, A. F. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italy. Pag 47-99

Diojode S. 1995. Short term conservation of mango seed. Plant Genetic Resources Newsletter, 104:24-25.

Domínguez S., Domínguez A., Gonzales A, & Navarro S. 2007. Cinética de imbibición e isothermas de adsorción de humedad de la semilla de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*). Revista Mexicana de Ingeniería Química. 6 (3):309-316.

Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos Tropicales. 31 (1): 74-85.

Dornbos, D. L. Jr. 1995. Seed vigour in relation to crop growth and yield. Plant Growth Reg. 11: 249-255.

Egli, D. B. and TeKrony, D. M. 1997. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. Seed Sci. Res. 7:3-11.

Ellis, R. H. 1992. Seeds and seedling vigour in relation to crop growth and yield. Plant Growth Reg. 11: 249-255.

Fenner. M. 1992. Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. C.A.B. International, Wallingford.

Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigour testing. In: seed vigour testing seminar, Copenhagen. Zurich: international Seed Testing Association. 1-9 pp

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. State of world aquaculture: 2012. Feed and elsewhere as seed for new crops. Technical Paper. No 500. Rome, FAO. 134 p.

Flores, L.A. Lizarraga, G. C. y Peñuri, F.J.M. 1984. Evaluación en la producción de forraje, valor nutritivo y calidad de ensilaje en diferentes especies de cereales. Tec. Pec. Méx. Suplento. 11p.

Franca, N. J. B.; Krzzanowski, F. C.; Henning, A. A.; West, S. H. and Miranda, L. C. 1993. Soybean seed quality of maize and sorghum. Seed Sci Technol. 25: 321-323.

García Breijo J. Rosello C. J. Santamarina S. M. P; 2001, Indicación a la fisiología de las plantas, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, pag 164-165.

Gómez C.C. 2006. Preservación a largo plazo de la semilla: los estándares actualizados son urgentes. Monografías ETSIA, Univ. Politécnica de Madrid, 168:1-4.

Ghassemi, G. K.; Soltani, A. and Atashi, A. 1997. Effect of water limitation in the field on seed quality of maize and sorghum. Seed Sci Technol. 25: 321-323.

Grass, L and Burris, J. S. 1995. Effect of heat during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum*) seed quality. I. Seed germination and seedling vigor. Can. J. Plant. Sci. 821-829.

Heatherly, L. G. 1993. Drought stress and irrigation effects on germination of harvested soybean seed, Crop Sci. 33:777-781.

Heydecker W., Higgins J., Gulliver R. L. 1973. Acelerated germination by osmotic seed treatment nature 246:42-44.

Hughes,H.D.; Heath,M.E y Metcalfe, D.S. 1974. Forrajes, ED. CECSA, México. 343-373 p.

IERAL (Instituto de Estudios sobre la Realidad Argentina y Latinoamericana). 2012. La transformación del trigo y las cadenas agroindustriales. Documento de Trabajo Núm. 40. IERAL Litoral.

ISTA, 2019 International Rules For Seed Testing 2019. Validate Seed Health Testing Methods,

<https://www.seedtest.org/upload/cms/user/ISTARules2019SHmethods7-002a.pdf>

Kelly, K.M., J. Van Staden y W.E. Bell. 1992. Seed coat structure and dormancy. *Plant Growth Regulat.* 11, 201-209.

Koster, K.L. 1991. Glass formation and desiccation tolerance in seed. *Plant Physiol.* 96, 302-304.

Leprince O., Harren F. J. M; Buitink J. Alberda M. & Hoekstra F. A. 2000. Metabolic dysfunction and unabated respiration precede the loss of membrane integrity during dehydration of germinating radicles. *Plant Physiol.* 122:597-608.

Marcos, F. J. 1994. Utilizaçao de testes de vigor em programas de qualidade de sementes. *Infomativo Abrates, Londrina.* 4(2): 33-35.

Méndez N., J. R., Merazo Pinto, J. F., & Montaña M., N. J. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays L.*), carota (*Phaseolus vulgaris L.*) y Quinchoncho 8 *Cajanus cajan L.. Mill*). *UDO Agrícola*, 8,61-66.

Mapúla L.M Upton L.J., Hernández V.J y Livera H.A. 2008. Germinación y vigor de semillas en *Pseudotsuga menziesii* de México. *Ra Ximhai*, Vol., 4 Número 1, pp 119-134.

Montes de G., V. 1990. Causas bioquímicas del bajo poder germinativo de semillas. En: Treviño-Díaz, T. y L.F. Jara (Comps). *Memorias del seminario-taller sobre investigaciones en semillas forestales tropicales*, Bogotá octubre 26-28 de 1988. Corporación Nacional de Investigacion y Fomento Forestal (Conif), Serie Documentacion, Bogotá. Pp. 109-110.

- Moreno, F., Plaza G. A y Magnitskiy S. V. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis Muell.*). *Agronomía Colombiana* 24 (2): 290-295.
- McDonald M.B. 2000, Seed Priming, In: *Seed Technology and its biological basic*, Ed. By M. Black and J.D. Beweley, Sheffiet, Academic Press, p. 286-325.
- McDonald, Jr. M. B. 1985. Physical seed quality of soybean. *Seed Sci. Technol.* 13:601-628.
- Nicasio A.S., Sánchez C M. E., Orozcos A., Gamboa-de B. A. 2011. Efecto del preacondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays*) raza Chalqueño, pag, 196-205.
- Pérez J; Borel y BertschR. 1984. Elementos prioritarios en la nutrición mineral de *Leucena leucocephala (Lam)*, en un suelo acido de Costa Rica, Turrialba, 34 (1): 91-98.
- Powell, A. A.1988. Seed vigour and field establishment. *Advances in Research and Technology of Seeds.* 11: 29-61.
- Purcell. E.J., Varbevg D., Rigdon S. 2007. *Cálculo diferencial e integral.* Pearson Educación, México. 520p.
- Rangel F.M. A., Córdova T.L & Cárdenas S. E. 2014. Pérdida de tolerancia a la desecación durante la imbibición-germinación en semillas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 833-845.
- Reboseño, C.G.G. 2018. *Fisiología de la Semilla en Líneas Experimentales y Variedades Comerciales de Trigo (Triticum aestivum L.) para Propósitos de Preacondicionamiento.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Salinas R. A., Yolsjian A. M., Craviotto M. R. y Visaro V. 2001. Prueba de vigor y calidad fisiológica de semilla de soya. *Psequisa Agropecuária Brasileira*, 36(2), 371-379.

Sánchez, B. 1983. Factores que influyen en la fisiología de germinación de la *Urtica urens* L. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Selle, C.M., E. Gonzáles de Mejía, L.G Elías y R.A. Bressani.1983. Evaluación de algunas características químico-nutricionales de la semilla del árbol de hule (*Hevea brasiliensis*). Archivos Latinoam. Nutric. 33(4), 884-901.)

Suárez D. & Melgarejo L. Primera edición 2010. Goth's Imágenes Taller Editorial, p. 14.

Schmidt, D.H.; Tracy, W.F 1989. The duration of absorption affects the conductivity of seed leaching in sweet corn. Hort Science EE. UU 346-347 pp.

Shewry P.R. 2009. Wheat. J. Exp. Bot 60:1537-1553.

Tekrony, D. M. and Egli, D. B. 1997. Relationship of seed vigor to crop yield a review. Crop Sci. 31:816-822.

Trawatha S, Tekrony, D. 1995. Relationship of soybean seed quality of fatty acid and C6 aldehyde levels during storage. Crop Sci., 35: 1415-1422.

Viera, R., L. Bergamaschi y L. Minohara. 1995. Qualidade fisiológica de sementes de seringueira (*Hevea brasiliensis*. Muell. Arg.), tratadas com benlate durante o armazenament. Sci. Agric. Piracaba 52(1), 151-157.

Walters C; Kameswarw N. & Hux. 1998. Optimizing seed water content to improve longevity in ex situ gene banks. Seed Science Reseach, 8: Supp. No. 1, 15-22.

Zamora V.V M., Valdés H.M., Torres T.M., Colín R.M y Jaramillo S.M 2015. Conductividad eléctrica y tasa de imbibición de semillas de trigos forrajeros. Compendio Investigativo de Academia Journals. pp 6214-6218.

OEIDRUS B.C; GOBBC; SAGARPA, 01 Abril 2002. En línea. <http://www.oeidrusbc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Mundial/Nacional2.pdf>.