

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Hidroacondicionamiento en Seis Genotipos de Trigo Duro
(*Triticum durum* L.)

Por:

ANGEL MIGUEL NOPALA OLIVAR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Hidroacondicionamiento en Seis Genotipos de Trigo Duro
(*Triticum durum* L.)

Por:

ANGEL MIGUEL NOPALA OLIVAR

TESIS

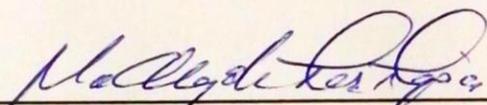
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

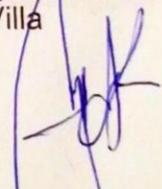
Aprobada por Comité de Asesoría:



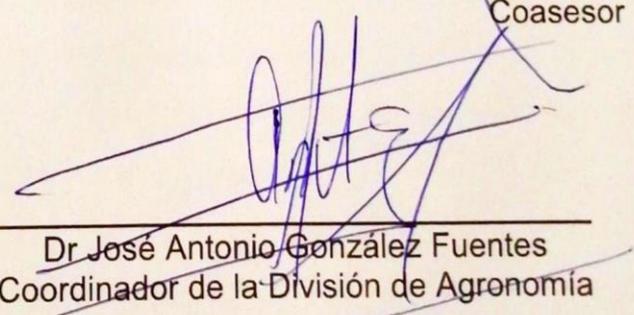
Dr. Víctor Manuel Zamora Villa
Asesor Principal



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

Febrero de 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis padres Onesimo Nopala y Ana Olivar. Por enseñarme los mejores valores de la vida, por su apoyo, comprensión, amor, ayuda y consejos en los momentos más difíciles que pasé en el transcurso de mi formación académica.

Gracias por confiar en mí y acompañarme hasta culminar esta etapa.

A mi hijo Héctor Jesús. Posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón de que me levante cada día a esforzarme por el presente y el mañana, eres mi principal motivación.

A mis hermanos. Alexandra, Ma. Isabel, Ernestina y Esteban quienes siempre estuvieron apoyándome en todo momento. Porque siempre sus consejos me impulsaron a seguir adelante y nunca dejarme caer ante ninguna situación.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, fue él quien me permitió culminar con éxito esta hermosa etapa de mi vida, etapa en la cual pude entender y valorar cada una de las bendiciones con las cuales él me rodea.

A la memoria del gran filántropo Don Antonio Narro, que nos legó esta gran universidad.

A mi “Alma Terra Mater” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por recibirme con los brazos abiertos, por darme la oportunidad de ser parte de esta gran Institución educativa y poder adquirir los conocimientos y herramientas necesarias para mi vida laboral, por las experiencias y consejos de sus catedráticos en sus instalaciones y cambiar mi vida por completo, por regalarme tantas experiencias y oportunidades para desarrollarme como profesionalista.

A mis asesores M. P. Alejandra Torres Tapia, Dr. Zamora Villa Víctor Manuel y al M.C. Colín Rico Modesto. Por confiar en mí para la realización de este trabajo y darme la oportunidad de aprender de sus experiencias laborales, como de la vida real y apoyarme con las facilidades para realizar esta tesis, gracias a ustedes, que dedican su vida y sus esfuerzos para capacitar mejores hombres que hacen un México mejor, en la rama de la agronomía.

ÍNDICE GENERAL

Titulo	No. de pág.
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Hipótesis	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
Clasificación taxonómica	6
Clasificación del Trigo en México	6
Formación de la semilla	7
Partes del grano	9
Latencia	10
Calidad Fisiológica.....	11
Hidroacondicionamiento	11
Requerimientos para la germinación	13
Germinación	15
Actividad enzimática	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
Ubicación del sitio experimental	20
Material genético	20
Metodología	21
Variables evaluadas.....	24
Volumen Absorbido (VA)	24
Peso Adquirido (PA)	24
Tasa de imbibición (TI)	25
Capacidad de Germinación (CG).....	25
Plántulas Normales (PN)	26
Plántulas Anormales (PA).....	26

Semillas sin germinar (SSG).....	27
Pruebas de vigor.....	27
Longitud media de plúmula (LMP)	27
Longitud media de radícula (LMR).....	28
Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco (PS))	29
Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) en condiciones de laboratorio.....	29
Índice de Velocidad de Emergencia en condiciones de invernadero	30
Análisis estadístico	31
Regresión	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Condición inicial de la semilla	35
Capacidad de germinación inicial	36
Vigor inicial	37
Análisis de varianza para tasa de imbibición por tiempos y combinado	39
Capacidad de germinación en respuesta al hidroacondicionamiento	44
Vigor de la semilla.....	48
Índice de velocidad de emergencia	51
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. LITERATURA CITADA	55

ÍNDICE DE CUADROS

Nº de Cuadro	Descripción	Nº de pág.
2.1	Clasificación del Trigo en México.....	7
3.1	Identificación de los genotipos estudiados.....	21
3.2	Identificación de los tratamientos de hidroacondicionamiento	22
4.1	Contenido de Humedad Inicial (CHI), Densidad y Peso Inicial (PI) de seis genotipos de trigo duro.....	35
4.2	Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Capacidad de Germinación inicial en semillas de seis genotipos de trigo duro	36
4.3	Resultados de la comparación de medias de las variables de Capacidad de Germinación en semillas de seis genotipos de trigo duro.....	37
4.4	Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor inicial en semillas de seis genotipos de trigo duro.....	38
4.5	Comparación de medias de las variables de Vigor inicial en semillas de seis genotipos de trigo duro.....	39
4.6	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición por tiempos en seis genotipos de trigo durante 28 horas de imbibición.....	39
4.7	Comparación de medias de la Tasa de imbibición de seis genotipos de trigo durante 28 horas.....	40
4.8	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición combinando tiempos y genotipos.....	42
4.9	Comparación de medias de seis genotipos de trigo duro durante 28 horas de inmersión.	42
4.10	Comparación de medias de tiempos de imbibición de seis genotipos de trigo duro durante 28 horas de inmersión.....	43
4.11	Funciones de respuesta de la variable Tasa de Imbibición, coeficientes de determinación (R^2) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta (T. Max.) en seis genotipos de Trigo duro.....	44
4.12	Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Capacidad de germinación de seis genotipos de trigo hidroacondicionados.....	45
4.13	Comparación de medias entre los tratamientos de hidroacondicionamiento en las variables de Capacidad de germinación.....	46
4.14	Comparación de medias entre los genotipos hidroacondicionados en las variables de capacidad de germinación.....	47
4.15	Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor de seis genotipos de trigo hidroacondicionados.....	48

4.16	Comparación de medias de las variables de Vigor entre tratamientos de hidroacondicionamiento.....	49
4.17	Comparación de medias de las variables de Vigor entre genotipos de trigo hidroacondicionados.....	50
4.18	Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Índice de Velocidad de Emergencia de seis genotipos de trigo duro.....	51
4.19	Comparación de medias del Índice de Velocidad de Emergencia de cuatro tratamientos de hidroacondicionamiento	52
4.20	Comparación de medias del Índice de Velocidad de Emergencia de seis genotipos	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº de Figura	Descripción	Nº de pág
2.1	Salvado (14% del grano); endospermo (83% aprox. del grano); germen o embrión (2.5% del grano).....	9
3.1	Ubicación del Experimento	20
3.2	Siembra de semillas en papel "Anchor".....	26
3.3	Clasificación de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin germinar (SG).....	27
3.4	Evaluación de Longitud Media de Radícula (LMR), Longitud Media de Plúmula (LMP).....	28
3.5	Evaluación del índice de velocidad de emergencia (IVE) de los tratamientos en laboratorio.....	30
3.6	Evaluación del índice de velocidad de emergencia (IVE) de los tratamientos en invernadero.....	31

RESUMEN

El hidroacondicionamiento es una técnica de preacondicionamiento que promueve la velocidad de germinación y en algunas especies también aumenta la velocidad de crecimiento y el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas durante su establecimiento, aún en condiciones ambientales adversas (McDonald, 2000; Sánchez *et al.*, 2001; Butola y Badola, 2004).

Para la realización de este trabajo de investigación se evaluaron cinco líneas experimentales de trigo duro generadas por el Programa de Cereales de la UAAAN y una variedad comercial (Jupare); las cuales fueron sometidas a imbibición en agua destilada para determinar la tasa máxima de cada genotipo, utilizando un diseño completamente al azar y evaluando cada cuatro horas en tres repeticiones por genotipo, el volumen absorbido (VA), peso inicial, peso adquirido y tasa de imbibición (TI); una vez determinada la tasa de imbibición se calculó mediante un análisis de regresión los tratamientos para cada genotipo los cuales fueron determinados a 25, 50, 75 y 100% del punto máximo en la tasa de imbibición. Posteriormente se inició con el hidroacondicionamiento; terminado el preacondicionamiento se realizaron pruebas de índice de velocidad de emergencia, germinación y vigor bajo condiciones de laboratorio e invernadero, en la cual se determinaron capacidad de germinación (PN, PA y SSG) y vigor (LMP, LMR y PS).

Los resultados obtenidos en las pruebas de germinación y vigor demuestran que la variedad comercial (Jupare) obtuvo una respuesta favorable en comparación a las líneas experimentales, cabe mencionar que entre genotipos y entre tratamientos no se detectó un aumento de peso seco como se menciona en otros trabajos de investigación. En cuanto a la comparación entre tratamientos, la mejor respuesta la obtuvo el dos (al 50% de tiempo) con los mejores porcentajes en las variables. Por otra parte, en el índice de velocidad de emergencia se observaron respuestas favorables para las dos condiciones, aunque con grandes diferencias. En condiciones de laboratorio se observaron emergencias de plántulas a las 24 horas siendo el tratamiento dos con la mejor respuesta y entre genotipos la obtuvo el genotipo tres seguido de la variedad comercial. En condiciones de laboratorio se observaron plántulas a los cinco días después de la siembra. El hidroacondicionar la semilla al 50% de tiempo de su tasa de imbibición provocó la mejor respuesta en germinación y vigor.

Palabras clave: Tasa de imbibición, Hidro acondicionamiento, Trigo, Germinación.

I. INTRODUCCIÓN

Las principales sustancias aplicadas en los tratamientos pregerminativos de hidratación son las soluciones osmóticas y el agua. Remojar las semillas en agua antes de la siembra ha sido desde los viejos tiempos una práctica agrícola para reducir el tiempo entre la siembra y la emergencia (Janick et al., 2010).

En las últimas dos décadas, el hidroacondicionamiento se ha convertido en un tratamiento común de semillas para aumentar la velocidad y la uniformidad de emergencia en muchas especies vegetales y flores. Así pues, se han utilizado varios tratamientos de presembrado para reducir el tiempo entre la siembra y la emergencia de las plántulas y para mejorar la sincronización de emergencia (Janick et al., 2010).

Existe una gran variedad de trabajos relacionados con pruebas de Imbibición donde se han probado soluciones de aceites vegetales, químicos e inclusive agua para mejorar la germinación de las semillas o remediar la longevidad de estas. Estos procedimientos activan reacciones metabólicas pregerminativas, que aceleran la germinación, la autorreparación enzimática de las membranas celulares y numerosos mecanismos bioquímicos-fisiológicos de tolerancia al estrés ambiental (Mc Donald, 1999 citado por Montejo, 2002). Mediante el proceso de imbibición de la semilla en agua o en soluciones diversas es factible mejorar su calidad fisiológica a través de la uniformidad en el porcentaje de germinación (Artola et al., 2003; Sánchez et al., 2007).

Para utilizar la técnica de hidroacondicionamiento se determina la tasa de imbibición de los materiales genéticos utilizados que es la cantidad de agua que absorbe y la velocidad con que lo hace. Al aplicar esta técnica la semilla entra en proceso de germinación el cual pasa por tres fases; en la primera, se trata de la imbibición, la cual consiste en la absorción de agua por la semilla. Se da por las

diferencias de potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición es consecuencia de las membranas celulares y de las fuerzas ejercidas por los contenidos; ocurre tanto si la semilla está viable como si no lo está, si está latente o no. Es independiente de la actividad metabólica de la semilla, aunque ésta se inicia rápidamente con la entrada del agua.

La segunda fase, es la germinación, las semillas producen importantes cambios enzimáticos; cuando las semillas se encuentran muertas o latentes mantienen el nivel de hidratación (primera fase); pero, en la segunda fase existe una diferencia entre la condición de las semillas, para las semillas latentes y no latentes es un periodo de metabolismo activo que prepara la germinación; mientras que para las muertas es un periodo de inercia. Por último, la tercera fase, el proceso de crecimiento, comienza con emisión de la radícula; sólo la presentan las semillas viables, no latentes; durante esta fase obviamente hay actividad metabólica, incluyendo el inicio de la movilización de las reservas almacenadas y elongamiento de tejido radicular y aéreo.

A lo largo de los años, el Programa de Cereales del Departamento de Fitomejoramiento, ha generado diferentes líneas de trigo considerando materiales genéticos originarios de regiones con características contrastantes en clima y diferentes modelos de producción en riego, fertilización etc., obteniendo líneas experimentales sobresalientes para producción de trigos duros; sin embargo es necesario conocer el comportamiento de estos materiales genéticos mejorados en cuanto a su respuesta fisiológica al ser sometidos a proceso de hidroacondicionamiento; para tratar de innovar tecnología en la producción de esta especie y lograr mejores resultados en el aumento de la germinación de aquellas semillas que presentan una germinación lenta, acortar los tiempos de emergencia y logrando una uniformidad del proceso que se verá reflejado al momento de la emergencia en campo, asegurando un estableciendo efectivo para los productores. Por ello, se plantearon el siguiente objetivo general y específico:

Objetivo general

Evaluar la respuesta fisiológica de la semilla de cinco líneas experimentales de trigo (*Triticum durum* L.) y una variedad comercial, aplicando la técnica de hidroacondicionamiento y comparar los mismos genotipos sin someterlos a esta técnica, con el propósito de disminuir el tiempo de germinación.

Objetivos específicos

- Determinar la tasa de imbibición de cinco líneas experimentales de trigo duro (AN-465-13, AN-470-13, AN-472-13, AN-475-13, AN-478-13) y una variedad comercial (Jupare) para propósitos de hidroacondicionamiento.
- Determinar la tasa máxima de imbibición en cada material genético para determinar los tratamientos de hidro acondicionamiento.
- Evaluar la respuesta fisiológica de la semilla al ser sometida a hidroacondicionamiento con agua destilada.
- Conocer, evaluar y comparar el efecto que tiene el hidroacondicionamiento entre los genotipos de trigo duro sobre la germinación y velocidad de emergencia al usar agua destilada.

Hipótesis

- Al menos uno de los genotipos experimentales tiene una respuesta distinta y favorable a los tratamientos de hidroacondicionamiento en la primera fase del proceso de germinación (imbibición) y su comportamiento al ser evaluados en pruebas de germinación en condiciones de laboratorio.
- Al menos uno de los genotipos experimentales tiene una respuesta distinta y favorable en respuesta a los tratamientos de hidroacondicionamiento al ser evaluados en pruebas de velocidad de germinación una vez iniciada la primera fase del proceso de germinación en comparación al tratamiento testigo, establecidos en condiciones de laboratorio e invernadero.
- Con la técnica de hidroacondicionamiento y secado de semilla se puede favorecer la germinación de la semilla y se acorta el tiempo de emergencia en campo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Clasificación taxonómica

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (Poaceae), siendo las variedades más cultivadas en México el *Triticum aestivum* y *Triticum durum*. El trigo se ubica taxonómicamente de la manera siguiente de acuerdo con Bedri, (2010):

Clase..... Monocotiledóneae.

Orden..... Graminales.

Familia.....Poaceae.

Tribu.....Triticinae.

Género.....*Triticum*.

Especie.....*aestivum*.

Clasificación del Trigo en México

En México el trigo se clasifica de acuerdo a su tipo de gluten, se divide en cinco grandes grupos como se menciona en el cuadro 2.1, siendo de mayor demanda los grupos 1 y 3; habiendo sin embargo mayor crecimiento de trigos cristalinos.

Cuadro 2.1.- Clasificación del Trigo en México. Fuente CANIMOLT (Cámara Nal. De la I. M. de Trigo, 2012)

	Tipo de trigo	Utilización
1	Fuerte (muy elástico) y extensible.	-Panificación, produciendo principalmente harina para pan de caja.
2	Medio fuerte (elástico) y extensible.	-Pan hecho a mano o semi-mecanizado.
3	Débil (ligeramente elástico) y extensible	-La industria galletera y elaboración de tortillas, buñuelos y otros; aunque puede utilizarse en la panificación artesanal.
4	Medio y tenaz (no extensible)	-No es panificable por su alta tenacidad. Se mezcla con trigos fuertes. Es utilizado para la repostería (pastelera y galletera).
5	Fuerte, tenaz y corto (no extensible).	-No es panificable. Se usa para pastas alimenticias (espagueti, macarrones, sopas secas, etc.).

Formación de la semilla

En algún momento, en el ciclo de la vida de las plantas anuales o en el ciclo estacional de las perennes, el equilibrio de los procesos fisiológicos cambia del crecimiento a la reproducción. Los órganos reproductores comienzan a formarse, desarrollarse y madurar.

Al respecto Delouche (1979), menciona que ciertas células dentro de los órganos masculino y femenino experimentan la meiosis, y producen gametos masculinos y femeninos con un número reducido de cromosomas, es decir, un cromosoma de cada par. El estambre es el órgano masculino que produce granos de polen, que llevan el esperma o núcleos masculinos. El pistilo u órgano femenino consiste de un ovario, estigma y estilo. El ovario contiene óvulos, dentro del cual están situadas las células femeninas u ovocélulas una ovocélula por óvulo. En las angiospermas, dos células adicionales, los núcleos polares, participan en el acto reproductivo global. Un grano de polen es trasladado de la antera al estigma del pistilo, este germina y produce un tubo que crece hacia abajo a través del estilo, y

entra al ovario y a un óvulo. Un núcleo de esperma del tubo de polen se fusiona con la ovocélula, mientras que un segundo núcleo se fusiona con los dos núcleos polares en el óvulo. Esta doble fertilización es característica de las angiospermas o plantas de floración.

De la misma manera, Duffus y Slaughter (1985) señalan que los cambios morfológicos y bioquímicos que acompañan a la maduración de la semilla, son de particular interés, puesto que conducen a la identificación de los factores involucrados en el control del rendimiento y la composición de la semilla al cosecharse.

Los hechos iniciales que siguen a la fertilización son similares a los de las plantas de flor. El polen germina sobre el estigma formando el tubo polínico, que penetra en el estilo y lleva los dos núcleos masculinos al saco embrionario. Un núcleo masculino se fusiona con el núcleo de la célula del huevo formando el cigoto. El segundo núcleo gamético masculino penetra en la célula central y se une con los dos núcleos polares para formar el núcleo del endospermo primario. El desarrollo posterior del cigoto y del endospermo difieren considerablemente en diferentes grupos de plantas. El endospermo generalmente es de tejido almidonoso y los embriones son normalmente reservas de lípidos y proteínas. (Duffus y Slaughter, 1985).

Después de la fertilización el ovario se convierte en el fruto, mientras que los óvulos se convierten en la semilla. La ovocélula fertilizada se divide, se multiplica, se desarrolla y se diferencia en el embrión con un número $2n$ de cromosomas, (uno de cada par de los progenitores masculino y femenino). Los núcleos polares fertilizados se desarrollan en el endospermo. La testa o cubierta de la semilla se deriva del tejido materno: los tejidos accesorios tales como el pericarpio (cubierta del fruto), y cascarillas.

Partes del grano

En la Figura 2.1 se puede observar un grano de trigo entero, el cual está conformado por tres partes: el germen, el endospermo y el pericarpio.

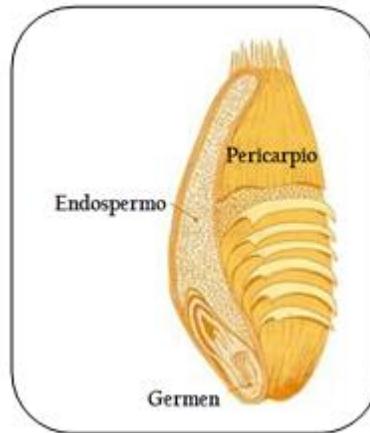


Figura 2.1 Salvado (14% del grano); endospermo (83% aprox. del grano); germen o embrión (2.5% del grano).

Cada grano de trigo consta de las siguientes partes: (Calaveras, 2004; Zarco-Hernández, Michelena, & Royo, 1999; INFOAGRO, 2012).

a) Pericarpio

Comprende una serie de capas que conforman la envoltura del grano y que comúnmente se conoce como salvado.

- Capa protectora o gluma, cascarilla es la que protege al grano, está formado principalmente por fibra.
- Pericarpio con sus tres subclases: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (ricas en fibras y minerales).
- La testa (rica en vitaminas y enzimas).
- La capa de aleurona (rica en proteínas y grasas).

b) Germen o embrión

Se localiza en el centro o núcleo de la semilla, es la parte “viva” de la semilla, que posteriormente dará origen a una nueva planta. Es rico en proteínas de alto valor biológico, ácidos grasos esenciales, vitaminas E y B1 y elementos minerales.

c) Endospermo

Estructura harinosa que envuelve al embrión y que le proporciona los nutrientes necesarios para su desarrollo, comprende más de la mitad del grano y consiste principalmente en almidón. De aquí se obtiene la harina. Tiene un alto contenido en almidón y materias proteicas especiales.

Latencia

Las semillas maduras de la mayoría de las plantas, normalmente tienen un periodo de descanso antes de desarrollarse en nuevas plantas. La duración del periodo de descanso varía de acuerdo con la especie y con las condiciones ambientales.

Es por esto que toda la semilla ya formada tiene la posibilidad de germinar si las condiciones de humedad, temperatura y aireación son correctas, o de no germinar si el ambiente es frío o seco, sin morir por ello. Esta posibilidad de mantenerse en vida, pero con el metabolismo suspendido se denomina vida latente.

Este tipo de vida puede mantenerse por un tiempo más o menos largo por lo general diez años o más. Por otra parte, hay especies, como el maíz y el trigo, cuyas semillas están en posibilidad de germinar en cuanto maduran, o aun antes si el ambiente es propicio.

Las causas del letargo pueden concretarse en: a) testa dura que el embrión no puede romper, b) testa impermeable (alfalfa, trébol) que impide la entrada del agua y aire al embrión, c) embrión rudimentario o no formado totalmente, d) embrión fisiológicamente inmaduro (lechuga, avena) incapaz de poner en marcha ciertos sistemas enzimáticos, e) presencia de inhibidores (cafeto, manzano) en la testa o en el endospermo que reprimen el desarrollo inicial del embrión. Llegado cierto momento el letargo termina y se inicia un proceso que va a determinar la germinación si las condiciones del medio son propicias.

Calidad Fisiológica

Gómez et al. (2015), consideran la calidad fisiológica en semilla, como la integridad de sus estructuras y procesos fisiológicos tales como germinación y vigor, siendo estos últimos los indicadores principales de calidad fisiológica óptima, además reivindica que el desarrollo de cada genotipo en ambientes desfavorables y su óptimo desarrollo dependerá de los cuidados esenciales que este tenga.

El SNICS 2014 expone que una buena calidad fisiológica de germinación es aquella que genera arriba del 85% de germinación, así mismo esta es apta para siembra y será seguida de una calidad de vigor óptimo. Torres (2004), menciona que la calidad fisiológica de germinación y vigor son útiles para la óptima reproducción de plántulas, así como hacer predicciones del comportamiento en condiciones desfavorables, obtención de rendimiento en forraje y grano.

Hidroacondicionamiento

Los tratamientos de hidratación parcial de las semillas en soluciones osmóticas o agua pueden ser utilizados con diferentes propósitos, dentro de ellos revigorar semillas envejecidas, acondicionar semillas para acelerar y uniformar la

germinación o robustecer semillas para incrementar la resistencia de las plantas a las tensiones ambientales. También se observa en los tratamientos de preacondicionamiento de semillas una modificación del crecimiento del eje embrionario y el desarrollo posterior de plántulas. La respuesta varía en función de las especies y las condiciones del pre-acondicionamiento

El hidroacondicionamiento de la semilla busca iniciar el proceso de germinación sin llegar a concluirlo y como procedimiento general se hidrata parcialmente a la semilla, seguida por un secado de la misma, para su posterior uso en la siembra. Esta estrategia se usa sobre todo en regiones donde se siembra bajo condiciones de temporal como una forma de asegurar el establecimiento del cultivo, sin embargo, no se tiene un sustento sólido respecto al tiempo óptimo de imbibición, existiendo reportes donde se acondiciona el trigo en intervalos de 12 horas (Giri y Schillinger, 2003) y el maíz en intervalos de 24 horas (Sánchez-Pérez, 2010) sin justificación alguna.

Este tratamiento pregerminativo promueve 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 aún en condiciones ambientales adversas (McDonald, 2000; Sánchez et al, 2001; Butola y Badola, 2004).

Diferentes autores han desarrollado diversos métodos o modelos para acondicionar semillas, utilizando sólo agua como medio de imbibición parcial (Orta, 1998), con los cuales se obtienen resultados muy satisfactorios para incrementar la germinación y emergencia de los cultivos en condiciones de laboratorio y campo. Mediante el proceso de imbibición de la semilla en agua es factible mejorar su calidad fisiológica a través de la uniformidad en el porcentaje de germinación (Artola et al., 2003; Sánchez et al., 2007; Pérez et al.,2006).

Requerimientos para la germinación

La germinación de la semilla implica condiciones apropiadas tales como humedad, luz, temperatura y suministro de oxígeno (Bidwell, 1990).

a) Humedad:

La presencia de humedad es el primer requisito para la germinación; esta humedad debe durar el tiempo suficiente para que la raíz haya podido alcanzar las capas de tierra constantemente húmedas, y, además debe mantenerse dentro de ciertos límites.

b) Oxígeno:

El oxígeno es necesario para la germinación de la semilla. El metabolismo durante los estadios iniciales de la germinación puede ser anaerobio cambiando a aerobio, tan pronto como se rompe la testa se rompe y el oxígeno se difunde en su interior. La semilla con la testa intacta requiere mucho más oxígeno para respirar al máximo que aquellas a las que se les quitó la testa (Bidwell, 1990).

El oxígeno se necesita para un mayor aumento en la actividad respiratoria, con el fin de suministrar energía que active el proceso de germinación. Un exceso de humedad en el suelo u otro medio desplazan el oxígeno en los espacios de los poros y puede reducir su disponibilidad a la semilla, por debajo del nivel límite.

c) Temperatura:

Para cada tipo de semilla existe un rango de temperatura dentro del cual el proceso de germinación puede llegar a completarse en un periodo razonable, si no está bloqueada por la latencia. El trabajo clásico sobre germinación de la semilla define tres puntos cardinales, a lo largo del rango de temperatura para la germinación de una especie. Estos son las temperaturas mínimas, máximas y óptimas. Solo difieren entre los diferentes tipos de semillas.

Temperatura Mínima: es la temperatura por debajo de la cual el proceso de germinación no sigue su curso hasta el punto del crecimiento visible del eje embrionario, dentro de un periodo de tiempo razonable.

Temperatura Máxima: es la temperatura por encima de la cual los mecanismos de germinación fallan y no ocurre crecimiento visible. En contraposición con la temperatura mínima, la temperatura máxima es bastante específica y relativamente fácil de establecer. Además, una temperatura por encima de la máxima generalmente es letal. Las semillas imbibidas expuestas a temperaturas por encima del máximo mueren y se pudren en pocos días.

La Temperatura Óptima: para la germinación es la temperatura a la que germina el máximo porcentaje de semillas, en el periodo más corto. La temperatura óptima para la germinación generalmente está más cerca de la máxima que la mínima. El principal efecto al reducir la temperatura del nivel óptimo al mínimo, se encuentra en la tasa de germinación. El efecto de la temperatura en la germinación, está influido por la condición fisiológica de la semilla.

d) Luz:

La germinación de algunas semillas puede ser inhibida por la luz. Este puede ser también un mecanismo de protección que impide a las semillas con germinación lenta el que éste se produzca en las superficies durante un breve chubasco, pues se podría desecar antes de que sus raíces alcanzaran una capa de suelo con humedad constante y suficiente (Bidwell, 1990).

La mayoría de las semillas de una gran variedad de cultivos y un buen número de las semillas hortícolas germinan bien en la oscuridad. Muchas otras semillas, como las malas hierbas, necesitan el estímulo de la luz para iniciar la germinación.

Germinación

La ISTA (2003) considera el proceso de germinación de una semilla como el establecimiento de un estado metabólicamente activo, manifestado fisiológicamente por la división celular y por la diferenciación. La primera expresión de este proceso suele ser la emergencia de la radícula.

En los ensayos realizados para comprobar el poder germinativo de las semillas se pretende, ante todo, conocer el valor potencial de éstas para la siembra. Así, la germinación queda definida como la capacidad de nascencia y desarrollo que presentan las semillas para transformarse en plántulas normales, con todas sus estructuras esenciales, cuando se las somete a determinadas condiciones favorables para su crecimiento, demostrando capacidad de producción (Lovato, 1981).

Primera fase: Imbibición

La absorción inicial de agua en la Fase 1 es una consecuencia de las fuerzas mátricas (Ψ_m) de las paredes celulares y los contenidos de las células de la semilla y esta absorción ocurre sin considerar a una semilla así posee latencia o no, es viable o no (Méndez et al., 2008). También se dice que es un proceso físico cuya fuerza directriz está determinada por la diferencia de potencial de agua entre la semilla y el sustrato que la rodea (Hincapié et al., 2010). Esta trae como consecuencia un aumento de volumen tanto de los tegumentos como de los materiales de reserva y del embrión en particular (Correa, 1990).

Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria (García et al., 2001); mientras que la absorción de agua por parte de la semilla está directamente influenciada por la presencia de la testa y la permeabilidad que ésta tenga. 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 es por lo general muy alta. En los cereales es del 40 al 60% del peso de la semilla seca y en algunas leguminosas, como la arveja, asciende al 180%. La cantidad de agua absorbida por las diferentes especies depende del tipo de sustancias de reserva que contengan, aquellas con endospermo amiláceo tienen un grado de hidratación menor que las que presentan endospermo proteico, altamente hidratable el agua penetra a través de los tegumentos, el micropilo, la lente (estrofiolo), las paredes y las membranas celulares y se liga por uniones de hidrógeno a los coloides y otras sustancias eléctricamente cargadas. Al inicio el ingreso de agua es rápido. Las macromoléculas y estructuras se re-hidratán y recuperan sus formas funcionales, durante este periodo, los solutos de bajo peso molecular pueden perderse desde la semilla. El ingreso de agua en una semilla tiene tres fases o etapas (Courtis, 2013).

Moreno et al.(2006), Publicó que la hidratación de la semilla está directamente influenciada por la presencia de la testa y la permeabilidad que ésta tenga, 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 las semillas de las leguminosas como el frijol debido a su testa más gruesa es más lenta su absorción de agua y por tanto su germinación; también durante el proceso de imbibición-germinación se pierde la tolerancia a la desecación (Oliver et al., 2000; Hoekstra et al., 2001; Bing et al., 2012).

Segunda fase: Actividad enzimática

Una vez incorporada una cierta cantidad de agua, que varía según la especie, inicia esta fase 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 perisperma hacia el eje embrionario donde el tejido quiescente se vuelve metabólicamente activo (Hincapié et al., 2010).

Muchas semillas son tolerantes a la desecación si el periodo de hidratación se mantiene hasta la fase II del patrón trifásico de absorción de agua y tienen una limitada capacidad de sobrevivencia a la desecación cuando se inicia la fase de crecimiento III (Bradford, 1995); (Leprince *et al.*, 2000; Buitink *et al.*, 2002; Farias *et al.*, 2005); 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, que son transformadas enzimáticamente para formar compuestos solubles movilizados al embrión (Egli y Tekrony, 1997).

En resumen, quiere decir que en las dos primeras fases de germinación los procesos son reversibles, a partir de la fase de crecimiento (fase 3) se entra a una situación fisiológica irreversible, 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 (García *et al.*, 2001).

Tercera fase: Elongación de tejido

Llamada también 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). Al iniciar esta etapa de la germinación, los materiales de reservas complejos son solubles e inmóviles. Después de ser digeridos pasan a ser simples, solubles y aprovechables por el embrión (Correa, 1990); sin embargo, el tiempo en que la protusión radicular o el cincuenta por ciento más uno se presenta es variable entre especies (Rangel *et al.*, 2014). Por otro lado, García *et al.*, (2001), mencionan que una cuarta fase en la cual se tiene lugar una acusada disminución de la respiración, que coincide con la desintegración de los cotiledones después de que han exportado las reservas almacenadas.

Actividad enzimática

La actividad enzimática inicia rápidamente al inicio de la germinación, a medida que se hidrata la semilla (Bewley y Black, 1982). Las semillas secas poseen una tasa de metabolismo baja, debido al menor contenido de humedad (5-10 %). Tan pronto como se imbibie la semilla, ocurren cambios marcados en su metabolismo. La actividad enzimática empieza durante las fases I y II de la germinación. Durante la fase II se inician diversos procesos esenciales para la germinación. El incremento de la respiración y pérdida de nutrientes a través de la radícula lleva a una pérdida en el peso seco. Finalmente, en la fase III, se observa la elongación radicular, las raíces se vuelven funcionales durante esta fase y son responsables del incremento de absorción de agua en esta fase.

La duración de cada fase (I, II, y III) depende de ciertas propiedades de las semillas, como en sus compuestos hidratables y la permeabilidad de las cubiertas al agua y al oxígeno (Azcón y Talón, 1993). El proceso de activación enzimática que ocurre durante la fase II, sirve para el desdoblamiento de los compuestos de reserva, ayuda a la transferencia de nutrientes de las áreas de reserva en los cotiledones o endospermo hasta los puntos de crecimiento y estimula las reacciones químicas que utilizan los productos de las reservas en la síntesis de nueva materia seca. Generalmente se activan primero las enzimas que desdoblan los carbohidratos, lípidos, proteínas y compuestos que tienen fósforo (la fase II). El eje embrionario necesita energía para crecer, así pues, los compuestos de reserva deben de hidrolizarse a formas solubles, traslocadas desde el endospermo y transformado a moléculas energéticas que podrán ser utilizadas inmediatamente por el eje embrionario. Inicialmente el endospermo se vuelve rico en productos solubles como la glucosa y maltosa, los cuales son absorbidos por el escutelo. La glucosa y maltosa son transformadas por una serie de reacciones enzimáticas en sacarosa, siendo esta transportada al eje embrionario y utilizado como la principal molécula energética.

Prueba de germinación

Los test de germinación son los ensayos realizados para comprobar el poder germinativo de las semillas. Se pretende ante todo conocer el valor potencial de éstas para la siembra. En este caso, la germinación queda definida como la capacidad de emergencia y desarrollo de la semilla en una plántula normal, con sus estructuras esenciales, cuando se la somete a determinadas condiciones favorables para su crecimiento.

Tras un ensayo de germinación, el analista puede encontrar semillas que germinan perfectamente dando lugar a plántulas normales, otras que al desarrollarse presentan alguna anomalía o aquellas que al finalizar el ensayo no han sido capaces de germinar. Todas ellas se describen más adelante.

La ISTA (1993) establece ciertas definiciones de lo que se considera plántula normal o anormal y describe detalladamente estos conceptos para los géneros más representativos.

Para el correcto desarrollo de una semilla en plántula, es necesario que exista una combinación específica de las siguientes estructuras esenciales, dependiendo de la especie que está siendo analizada (ISTA, 1993):

- Un sistema radicular bien desarrollado, con una raíz principal y/o raíces laterales normales (como en la mayoría de las dicotiledóneas) o dos o más raíces seminales en plantas con sistema radicular fibroso.
- Un eje caulinar con hipocotilo bien desarrollado y una yema terminal.

Una vez conocido dicho potencial será fácil establecer comparaciones entre la calidad de distintos Lotes para estimar su futuro valor en condiciones de campo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental

El experimento se realizó en el Laboratorio de Producción de semillas, del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas y en el invernadero No. 3, ubicados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; cuyas coordenadas son 25°21'16.6" Latitud Norte y 101°01'55.1" Longitud Oeste con una altitud de 1,742 msnm.



Figura 3.1 Ubicación del Experimento

Material genético

Los genotipos estudiados fueron cinco líneas experimentales y una variedad comercial (Júpare) proporcionadas por el Programa de Cereales de Grano Pequeño del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN, las cuales fueron

producidas en la localidad de Zaragoza, Coahuila en el ciclo O-I 2016-2017; descritos en el Cuadro 3.1:

Cuadro 3.1.- Identificación de los genotipos estudiados

Identificación	Genotipo/Clave
1	AN-465-13
2	AN-470-13
3	AN-472-13
4	AN-475-13
5	AN-478-13
6	JÚPARE

Metodología

El presente trabajo se llevó a cabo en dos etapas: La primera etapa, consistió en la estimación del tiempo máximo de imbibición de los materiales genéticos; en la segunda etapa, se aplicaron los tratamientos derivados del tiempo máximo de imbibición, el tiempo de secado y su evaluación fisiológica de cada genotipo.

Primera etapa

Se determinó primeramente el contenido de humedad (%), tomando tres repeticiones por cada material genético, utilizando un determinador marca GAC 2000.

Se contabilizaron tres repeticiones de 100 semillas de cada material genético, se pesaron en una balanza analítica Explorer Pro Ohaus de 0.0001 g de precisión y se registró el peso inicial (g). Se colocaron cada repetición en vasos de precipitado de 150 mL, y se agregaron 100 mL de agua destilada en cada vaso, considerado como inicio de la imbibición en un tiempo 0 (cero).

Al cabo de cuatro horas, se midió el volumen de agua absorbido y el peso adquirido de la semilla de cada repetición. Para determinar los datos anteriores, se colocó un colador en la parte superior de una probeta de 100 mL, enseguida se decantó el contenido del vaso de precipitados y se dejó escurrir muy bien. El volumen de agua absorbido se midió en la probeta por diferencia a los 100 mL iniciales; a continuación se colocaron las semillas en papel absorbente para retirar el exceso de agua y se pesaron en una balanza analítica Explorer Pro Ohaus de 0.0001 g de precisión, una vez tomados los datos de volumen y peso adquirido de cada repetición se volvió restablecer la semilla a la condición inicial utilizando el agua restante (los mililitros sobrantes de los 100 mL iniciales); este proceso se repitió cada cuatro horas hasta obtener 50% más uno de semilla con protrusión radicular, registrando los datos de volumen absorbido y peso adquirido de cada tiempo; y se calculó la tasa de imbibición.

Segunda etapa

Se determinó el tiempo máximo de imbibición para cada material genético y se definieron los tratamientos (T0, T1, T2, T3, T4) para cada genotipo, los cuales fueron a 0, 25, 50, 75 y 100 % del tiempo máximo de imbibición, el cual fue diferente para cada genotipo y están descritos en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2.- Identificación de los tratamientos de hidroacondicionamiento.

Genotipo	Tratamiento 0	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
1	0	6 h 30´	13 h 00´	19h 30´	26h 75´
2	0	7 h 00´	14h 00´	21h 00´	27h 66´
3	0	6 h 30´	13h 00´	29h 30´	25h 08´
4	0	8 h 00´	16h 00´	24h 00´	31h 87´
5	0	7 h 00´	14h 00´	21h 00´	28h 58´
6	0	6 h 30´	13h 00´	19h 30´	25h 33´

Tratamiento 0= 0%; Tratamiento 1= 25%; Tratamiento 2=50%; Tratamiento 3=75%, Tratamiento 4=100%; Todos los tratamientos están en horas (h) y minutos (´) de inmersión.

Hidroacondicionamiento y secado

Los materiales genéticos fueron sometidos al proceso de imbibición, para ello, en una báscula de la marca Torrey L-EQ se pesaron 300 g de semilla de los seis genotipos para cada tratamiento y se colocaron en recipientes de plástico de 2 L, posteriormente se les añadió 1L de agua destilada a cada tratamiento; los recipientes se colocaron en un agitador electrónico marca Lab-Line durante el tiempo establecido de cada genotipo-tratamiento. Al culminar el tiempo de cada tratamiento, se drenó el agua y se colocó la semilla de cada uno, en papel absorbente para retirar el exceso de agua; enseguida se colocó la semilla de cada genotipo-tratamiento en contenedores de malla metálica para un secado natural a temperatura ambiente.

A los dos días de exposición a medio ambiente, se valoró el contenido de humedad de la semilla mediante un determinador de humedad marca GAC 2000, y se continuó el secado natural hasta obtener un contenido por abajo del 13% en cada genotipo-tratamiento.

Una vez bajo el contenido de humedad, se procedió a la evaluación de la calidad fisiológica de cada genotipo-tratamiento, la cual consistió en pruebas de germinación y vigor en laboratorio determinando: la capacidad de germinación, evaluando el porcentaje de plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA) y semillas sin Germinar (SSG); así como el vigor de la semilla mediante longitud media de plúmula (LMP), longitud media de radícula (LMR) y Tasa de crecimiento de plántula (PS).

Así mismo, se determinó otra prueba de vigor mediante la velocidad de emergencia bajo las condiciones de laboratorio e invernadero.

Variables evaluadas

Volumen Absorbido (VA)

Para medir esta variable se colocaron 100 semillas por material genético en vasos de polipropileno de 200 mL, con una probeta graduada se agregaron 100 mL de agua destilada, se dejaron imbibir por cuatro horas a temperatura ambiente \pm 25°C, transcurridas las horas de imbibición, se decantó el agua en una probeta graduada midiendo el volumen residual en mililitros de cada una de las repeticiones del material genético; una vez registrado el dato, se retornó el agua al vaso con la semilla y se dejó nuevamente cuatro horas; este proceso se realizó cada cuatro horas hasta observar el 50 % más uno de protrusión radicular en las semillas.

Para calcular el volumen absorbido se restó el volumen inicial menos el volumen residual, según la fórmula siguiente:

$$\text{Volumen absorbido} = V_i - V_r$$

Donde:

V_i = Volumen inicial

V_r = Volumen residual

Peso Adquirido (PA)

Esta variable se midió al transcurrir cuatro horas de haber puesto en imbibición los materiales genéticos, utilizando una balanza analítica AND GH-120 de 0.0001 gr de precisión. Al decantar el agua de cada tratamiento, las semillas se colocaban en coladores de plástico, el cual estaba colocado en la parte superior de la probeta, después se colocaban en papel absorbente para retirar el exceso de agua y posteriormente se colocaban en la balanza para tomar peso adquirido, este proceso se realizó cada cuatro horas hasta observar el 50 % más uno de protrusión radicular en las semillas.

Tasa de imbibición (TI)

Una vez obtenidos los datos de peso inicial, contenido de humedad inicial de cada genotipo y el peso adquiridos en cada una de las lecturas; se calculó la tasa de imbibición (TI); aplicando la ecuación de Weibull (Domínguez *et al.*, 2007):

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

Dónde:

Wf= Peso adquirido.

Wi= Peso inicial.

Hi= Contenido de humedad inicial de la semilla.

Capacidad de Germinación (CG)

Una vez finalizada la fase de imbibición, se procedió a la prueba de capacidad de germinación considerando el fundamento de la prueba de germinación según la ISTA (2010); evaluando tres repeticiones por tratamiento, llevando a las semillas de cada repetición con o sin protrusión radicular a sembrar sobre papel “Anchor” de 38 X 25.6 cm humedecido con agua destilada, colocando 25 semillas por repetición de cada genotipo, las semillas se colocaron con el embrión hacia abajo sobre una línea central en el papel, cubriendo con otro papel humedecido se deja un espacio de 2-3 cm para posteriormente enrollarlos y formar un “taco”.

Finalmente, los tacos se colocaron aleatoriamente en vertical en bolsas de plástico llevadas a una cámara de crecimiento marca Lumistell modelo 09 a una temperatura de 25 + 1 °C a ocho horas luz y 16 horas oscuridad durante siete días, para su posterior evaluación.

Una vez transcurridos los siete días en la cámara de crecimiento, se evaluaron las plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), semillas sin germinar (SSG), según la ISTA (1992).

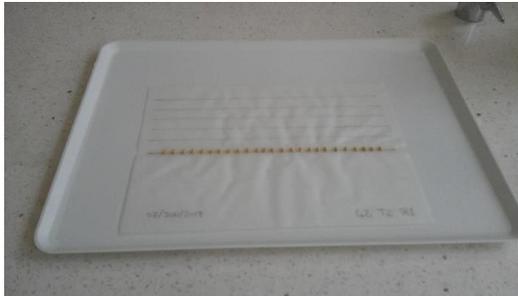


Figura 3.2 Siembra de semillas en papel "Anchor".

Plántulas Normales (PN)

Se consideraron plántulas normales, aquellas plántulas que demuestran el potencial para su desarrollo continuo cuando crecen bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz. Las estructuras que son esenciales para que una plántula continúe su desarrollo a una planta satisfactoria (sistema radicular, eje del tallo, cotiledones, yemas terminales, etc.) se encuentren en buenas condiciones. Cabe señalar que se consideraron plantas normales aquellas con un tamaño de tres veces el tamaño de la semilla tanto de la plúmula como la radícula. Los resultados obtenidos fueron expresados en porcentaje. Fórmula utilizada:

$$\% \text{ PN} = \frac{\text{No. de Plántulas Normales}}{\text{No. de semillas sembradas}} \times 100$$

Plántulas Anormales (PA)

Se consideraron plantas anormales, todas aquellas plántulas con raíces muy cortas, inferiores a tres veces el tamaño de la semilla, atrofiadas, débiles o filiformes, con carencia de raíz primaria y plántulas con epicótilo corto, grueso en forma de S o deformes; los datos obtenidos fueron expresados en porcentaje. Fórmula utilizada:

$$\% \text{ PA} = \frac{\text{No. de Plántulas Anormales}}{\text{No. de semillas sembradas}} \times 100$$

Semillas sin germinar (SSG)

Son aquellas semillas que no han germinado al fin del período del ensayo cuando han sido sometidas a las condiciones dadas, en este caso fueron consideradas semillas sin germinar todas las semillas sin desarrollar raíz y plúmula. Esto debido a diferentes factores de la misma semilla tanto de latencia e inviabilidad, como de reducción o poder nulo germinativo, ennegrecimiento total o parcial de las semillas y alteración de sus características nutritivas provocadas por hongos, los cuales se notaron en algunos genotipos evaluados, no causando daños mayores. Fórmula utilizada:

$$\% \text{ SSG} = \frac{\text{No. de Semillas Sin Germinar}}{\text{No de semillas sembradas.}} \times 100$$



Figura 3.3 Clasificación de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin germinar (SSG).

Pruebas de vigor

Longitud media de plúmula (LMP)

Para evaluar esta variable se utilizaron tres repeticiones de 25 semillas, utilizando la metodología descrita por Perry, (1977); se sembraron sobre papel "Anchor" de 38 X 25.6 cm humedecido con agua destilada, colocando las semillas con el

embrión hacia abajo sobre la línea central del papel de germinación, mismo donde se trazaron líneas paralelas. La primera línea se trazó a tres centímetros de la línea central, las cinco líneas restantes se trazaron cada dos centímetros, después se cubrió con otro papel humedecido y posteriormente se enrollaron para formar un “taco”, como se realizó en la prueba de germinación. Poniendo de manera aleatoria y en vertical en bolsas de plástico y llevadas a una cámara de crecimiento marca Lumistell modelo 09 a una temperatura de 25 ± 1 °C a ocho horas luz y 16 horas oscuridad durante siete días, para su posterior evaluación.

Después de los siete días de incubación, se identificaron (según ISTA, 1992) y cuantificaron las plántulas normales encontradas en cada paralela correspondiente. Determinando al final la sumatoria de la medida de plúmulas por repetición entre el número de plantas normales medidas en esa repetición.

Longitud media de radícula (LMR)

Para determinar los datos de esta variable, se consideraron las plántulas normales resultantes de la prueba anterior, evaluando diez plántulas al azar de cada repetición por genotipo, midiendo con una regla graduada en centímetros la longitud de la radícula más larga de la plántula. Al final se realizó una sumatoria de la media de plúmulas por repetición entre el número de plantas normales medidas en esa repetición.



Figura 3.4 Evaluación de Longitud Media de Radícula (LMR), Longitud Media de Plúmula (LMP).

Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco (PS))

Para la obtención de esta variable, se utilizaron las plántulas normales resultantes de la prueba de capacidad de germinación, donde también se refleja una estimación de vigor mediante la tasa de crecimiento de plántula considerando el peso seco de la misma, realizando la metodología de esta prueba según las reglas de la AOSA (1983); donde a los siete días después de la siembra en condiciones de laboratorio, fueron evaluadas las plántulas normales conforme a la ISTA (1992). Se quitaron restos de semilla a las plántulas, colocando únicamente plúmulas y radículas de cada repetición en bolsas de papel de estraza perforadas previamente pesadas para ser llevadas a la estufa de secado marca ShellLab D.B.O a 65 °C por 24 horas, una vez transcurrido el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente por 15 min y se procedió a pesar en una balanza analítica AND GH-120 de 0.0001 g precisión; se consideró el peso de las plántulas secas en miligramos y se dividió entre el número de plántulas normales de cada repetición, obteniendo el resultado en mg/plántula. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$PS = P1 - P2$$

Donde: PS= Peso seco

P1= Peso de la bolsa + plántulas secas

P2= Peso de la bolsa.

Índice de Velocidad de Emergencia (IVE) en condiciones de laboratorio

Para determinar este parámetro, se utilizaron tres repeticiones por tratamiento de cada genotipo, se colocaron diez semillas por repetición en cajas Petri, acondicionadas con papel filtro humedecido con agua destilada; el material a evaluar se colocó dentro de una cámara de germinación marca Lumistell modelo 09 a una temperatura de 25 ± 1 °C a ocho horas luz y 16 horas oscuridad. La evaluación se realizó a través del conteo diario (cada 24 horas) de las plántulas

emergidas por día a partir de la siembra, considerando como plántulas emergidas aquellas con un tamaño mayor a tres veces el tamaño de la semilla. El índice de velocidad de emergencia IVE se calcula mediante la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

En donde:

IVE = índice de velocidad de emergencia;

X_i = Número de plántulas emergidas por día;

N_i = Número de días después de la siembra;

n = Número de conteos 1, 2, ..., n conteos.



Figura 3.5 Evaluación del índice de velocidad de emergencia (IVE) de los tratamientos en laboratorio.

Índice de Velocidad de Emergencia en condiciones de invernadero

Para determinar este parámetro, se utilizaron dos repeticiones por tratamiento de cada genotipo. Sembrando 100 semillas por repetición, colocadas en surcos de 1.20 m de largo por 15 cm de ancho. El terreno se acondicionó antes de la siembra con un riego pesado para que emergiera maleza y posteriormente eliminarla antes de la siembra. La cuantificación se realizó a partir de los cinco

días después de la siembra a través del conteo diario de las plántulas emergidas, tomando como plántulas emergidas a las que sobresalgan del sustrato; la última evaluación fue a los 11 días después de la siembra. El índice de velocidad de emergencia IVE se calcula mediante la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

En donde:

IVE = índice de velocidad de emergencia;

X_i = Número de plántulas emergidas por día;

N_i = Número de días después de la siembra;

n = Número de conteos 1, 2, ..., n conteos.



Figura 3.6 Evaluación del índice de velocidad de emergencia (IVE) de los tratamientos en invernadero.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos durante esta investigación se concentraron en el programa Microsoft Excel, posteriormente se analizaron estadísticamente en el programa SAS versión 9.0 (2009); para la variable tasa de imbibición se utilizó el análisis completamente al azar para cada lectura realizada, conforme algunos genotipos alcanzaban la etapa de protrusión de la radícula en un 50% más uno de

la semilla utilizada, se eliminaban de los análisis de varianza. Posteriormente se analizó la información conjunta de todos los tiempos de imbibición como parcelas divididas, donde la parcela grande fueron los tiempos de imbibición y la parcela chica los genotipos. Todo lo anterior bajo el siguiente modelo matemático para cada tiempo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = La observación de la unidad experimental.

μ = Efecto de la media general del experimento.

T_i = Efecto del tratamiento.

e_{ij} = Valor aleatorio, error experimental de la u. e_{ij}

Y para el análisis conjunto, el diseño usado fue completamente al azar con parcelas divididas. Donde la parcela grande corresponde a los tratamientos y la parcela chica los genotipos. Esta evaluación se realizó bajo el siguiente modelo lineal (Padrón, 1996):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, a$ = niveles del factor A.

$j = 1, 2, 3, \dots, b$ = niveles del factor B.

$k = 1, 2, 3, \dots, n$ = repeticiones o bloques.

Y_{ijk} = la k-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

μ = estima la media poblacional.

α_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

ϵ_{ik} = error parcela grande (tratamientos).

β_j = efecto del j-ésimo genotipo.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto conjunto del i – ésimo tratamiento y el j – ésimo genotipo.

ϵ_{ijk} = error de la parcela chica (genotipos).

Los datos de calidad física y fisiológica se analizaron como un diseño factorial con arreglo completamente al azar. A x B, donde el factor A fueron los genotipos de trigo empleados; el factor B, fueron los tratamientos. Utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = representa la variable dependiente.

μ = representa la media global de todos los tratamientos.

α_i = representa el factor uno en estudio (genotipos).

i = representa los niveles del factor uno.

β_j = representa el factor dos en estudio (tratamientos).

j = representa los niveles del factor dos.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = representa la interacción de los niveles ij de los factores uno y dos.

ϵ_{ijk} = representa el error experimental.

La comparación de medias se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05\%$. Calculándose mediante la fórmula según Steel y Torrie (1980).

$$DMS = t_a (\sqrt{2CMEE / r})$$

Dónde:

CMEE: Cuadrado medio del error. r: número de observaciones usadas para calcular un valor medio. a: nivel de significancia.

t = valor tabular que se usa en la prueba, con los grados de libertad del error y el nivel de significancia apropiada.

Regresión

Para la tasa de imbibición se realizó un análisis de regresión mediante el paquete estadístico SAS versión 9.0 (2009), explorando el efecto lineal y el efecto cuadrático, si la ecuación de respuesta era cuadrática, se procedió a obtener la segunda derivada de la función de regresión de cada uno de los genotipos, con el objetivo de conocer el valor máximo de las tasas de la variable mencionada, expresándola en horas, de acuerdo con Purcell et al., (2007).

La regresión lineal es una técnica estadística que analiza los valores de una variable a la que se le denomina dependiente, puede predecirse mediante un modelo lineal, conociendo los valores de otras variables, a las que se denominan independientes (Álvarez, 2007). Estas relaciones pueden determinarse bajo la siguiente ecuación:"

$$Y = a + b_1x + b_2x^2$$

Y= Valor calculado

a= Ordenada al origen

b₁ y b₂= Coeficientes de regresión para el efecto lineal y cuadrático, respectivamente.

x= Variable independiente

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condición inicial de la semilla

Los resultados obtenidos de los parámetros de calidad física en la condición inicial de los genotipos, se muestran en el Cuadro 4.1; indicando el contenido de humedad, la densidad (peso volumétrico) y peso de mil semillas; datos que fueron utilizados para determinar posteriormente la Tasa de Imbibición de cada genotipo.

En el Cuadro 4.1, señala que el genotipo cuatro (AN-475-13) tuvo el mayor contenido de humedad y densidad, con valores de 10.3 % y 80.83 Kg/Hl respectivamente; sin embargo, el peso fue menor (5.02 g) que el genotipo tres (AN-472-13), que resultó con la menor humedad y densidad, con valores de 9.23 % y 78.72 Kg/ Hl, respectivamente.

Cabe señalar que los porcentajes de los materiales que se estudiaron presentaron por abajo de lo que está establecido para semillas, pues se indica que en las semillas de cereales de grano pequeño debe ser de máximo 13% de humedad para su certificación (SNICS, 2014).

Cuadro 4.1.- Contenido de Humedad Inicial (CHI), Densidad y Peso Inicial (PI) de seis genotipos de trigo duro.

Genotipo	CHI (%)	Densidad (kg/hl)	PI (g)
1 AN-465-13	10.26	79.58	5.14
2 AN-470-13	9.83	78.30	5.11
3 AN-472-13	9.23	78.72	5.67
4 AN-475-13	10.3	80.83	5.02
5 AN-478-13	9.63	78.59	5.53
6 Júpare	10.06	78.64	4.83

Capacidad de germinación inicial

En el Cuadro 4.2 podemos observar los resultados de los análisis de varianza de las variables de la capacidad de germinación inicial de la semilla, indicando que no existieron diferencias significativas entre los genotipos.

Cuadro 4.2.- Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Capacidad de Germinación inicial en semillas de seis genotipos de trigo duro.

Fuente de Variación	gL	PN	PA	SSG
Gen	5	258.286 NS	48.889 NS	145.651 NS
Error	18	94.400	24.889	71.289
Total	23			
CV		11.753	132.058	62.286

(*) Significativo; (**) Altamente significativo; (NS) No significativo P: 0.05, 0.01; CV= % de coeficiente de variación; PN= Plántulas Normales; PA= Plántulas Anormales; SSG= Semillas sin Germinar.

En la prueba de comparación de medias para la variable plántulas normales se formaron dos grupos estadísticos (Cuadro 4.3); en el primer grupo (A) encontramos a los genotipos 6 (testigo, variedad Jupare), 3, 1, 4 y 5, con el mayor porcentaje de germinación, señalando que estos últimos tres genotipos también fueron parte del grupo dos (B), donde de igual forma se encuentre el genotipo dos (AN-470-13) que presentó el menor porcentaje de germinación, insuficiente para alcanzar el mínimo que señala la Ley de Semillas de un 90%.

En la variable plántulas anormales se formaron nuevamente dos grupos, el primero (A) compuesto por los genotipos 2 (mayor porcentaje de plantas anormales), 1, 4 y 5, los últimos tres genotipos también formaron parte del segundo grupo, al igual que los genotipos 6 (testigo, variedad Jupare) y 3 (AN-472-13), señalado en el mismo Cuadro 4.3.

Finalmente, para la variable semillas sin germinar también se formaron dos grupos estadísticos, donde el genotipo dos se destacó en el primer grupo (A) con el mayor porcentaje de semillas sin germinar, le siguieron los genotipos 5, 4, 1 y 3, los

últimos cuatro genotipos formaron parte del segundo grupo (B), al igual que el genotipo 6 (variedad Jupare), con menor porcentaje de semillas sin germinar.

Con los resultados obtenidos en la prueba de medias se logró observar que el testigo variedad Jupare, tuvo un porcentaje alto de germinación comparado con las líneas experimentales, ya que destacó con un porcentaje alto en la variable plántulas normales y porcentajes bajos en plántulas anormales y semillas sin germinar.

Cuadro 4.3.- Resultados de la comparación de medias de las variables de Capacidad de Germinación en semillas de seis genotipos de trigo duro.

PN			PA			SSG		
G	Media	Gen	G	Media	Gen	G	Media	Gen
A	93.333	6	A	10.667	2	A	22.667	2
A	90.667	3	BA	4.000	1	BA	16.000	5
BA	82.667	1	BA	4.000	4	BA	14.667	4
BA	81.333	4	BA	2.667	5	BA	13.333	1
BA	81.333	5	B	1.333	6	BA	9.333	3
B	66.667	2	B	0.000	3	B	5.333	6

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes. (Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG))

Vigor inicial

En el Cuadro 4.4, se observan los resultados de los análisis de varianza de las variables del vigor inicial de la semilla, donde no se encontró diferencias significativas entre los genotipos, con porcentajes del Coeficiente de Variación (CV) de 11.5, 4.4 y 9.0 en las variables de LMP, LMR y PS respectivamente.

Cuadro 4.4 Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor inicial en semillas de seis genotipos de trigo duro.

Fuente de Variación	gL	LMP	LMR	PS
Gen	5	1.991NS	0.553 NS	0.00000349 NS
Error	18	1.032	0.464	0.00000193
Total	23			
C.V.		11.524	4.412	9.006

(*) Significativo, (**) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01, CV= % de coeficiente de variación, (Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS)

Una vez obtenido el análisis de varianza se procedió a hacer una comparación de medias, cuyos resultados aparecen en el Cuadro 4.5, señalando dos grupos estadísticos en la variable longitud media de plúmula (LMP), teniendo en el primer grupo (A) a los genotipos 6 (variedad comercial), 1, 3, 4 y 5, estos tres últimos también formaron parte del segundo grupo (B), al igual que el genotipo 2 (AN-470-13).

Para la variable longitud media de radícula (LMR), se formó un solo grupo estadístico, confirmando la no significancia entre genotipos, aunque numéricamente el genotipo 1 (AN-465-13) mostró mayor longitud radicular y el genotipo 2 (AN-472-13), menor longitud.

Finalmente, para la variable peso seco (PS) se formaron dos grupos, en el primero (A) se encontraron los genotipos 5 (AN-478-13, con mayor peso seco), 1, 2 y 3, que, a su vez, los últimos tres genotipos formaron parte del segundo grupo (B), seguidos de los genotipos 6 y 4 (AN-475-13, con menor peso seco).

El genotipo 6 (variedad comercial), se caracterizó por poseer una buena LMP combinada con bajas LMR y PS, en tanto que el genotipo 1 (AN-465-13) tuvo menor LMP, una mayor LMR y un mejor PS; el genotipo 3 (AN-472-13) se encuentra en tercer lugar entre los genotipos, tanto en LMP y LMR, pero con un PS más bajo.

Cuadro 4.5.- Comparación de medias de las variables de Vigor inicial en semillas de seis genotipos de trigo duro.

LMP			LMR			PS		
G	Media	Gen	G	Media	Gen	G	Media	Gen
A	9.9733	6	A	15.7467	1	A	0.017186	5
A	9.2267	1	A	15.7267	4	BA	0.016042	1
BA	9.1200	3	A	15.6867	3	BA	0.016013	2
BA	8.6000	4	A	15.6833	5	BA	0.015402	3
BA	8.6000	5	A	15.0533	6	B	0.014060	6
B	7.3600	2	A	14.7333	2	B	0.013884	4

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes. (Longitud Media De Plúmula (LMP), Longitud Media De Radícula (LMR) y Peso Seco (PS))

Análisis de varianza para tasa de imbibición por tiempos y combinado

En el siguiente Cuadro 4.6, se muestran los análisis de varianza ordenados horizontalmente por intervalos de cuatro horas para la variable tasa de imbibición. Todos los genotipos se evaluaron hasta las 28 horas, sin iniciar la protrusión de radícula. Los análisis de varianza revelaron no tener diferencias significativas entre los genotipos evaluados durante las 28 horas, duración de la prueba. Esto sugiere que probablemente los genotipos mostraron una tasa de imbibición similar durante todas las lecturas tomadas. Cabe señalar que si hubo diferencias numéricas de los genotipos imbibidos entre los tiempos evaluados. Los resultados sugieren que la respuesta de la velocidad de la primera etapa del proceso de germinación en los genotipos estudiados fue similar teniendo porcentajes del Coeficiente de Variación de 3.51 hasta 5.01 %.

Cuadro 4.6 Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición por tiempos en seis genotipos de trigo durante 28 horas de imbibición.

Fuente Variación	gL	4	8	12
Genotipos	5	0.000369NS	0.000409NS	0.000937NS
Error Exp.	12	0.000188	0.000204	0.000329
Total	17			
C.V.		4.935	3.516	3.806

16	20	24	28
0.00100NS	0.000861NS	0.00123NS	0.000854NS
0.000694	0.000766	0.000835	0.000695
5.017	4.875	4.851	4.249

(*) Significativo, (**) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01, CV= % de coeficiente de variación

Una vez encontradas las diferencias estadísticas respectivas, se realizó una prueba de medias (DMS al 0.05 de probabilidad) para esta variable, resultando dos grupos estadísticos a las cuatro horas de imbibición como se muestra en el Cuadro 4.7, el primero (A) fue el genotipo tres (AN-472-13) con la mayor tasa de imbibición, seguido de los genotipos 2, 4, 6 y 5; donde estos cuatro últimos genotipos mencionados también formaron parte del segundo grupo estadístico (B) al igual que el genotipo uno (AN-465-13), quien fue con la menor tasa de imbibición.

Cuadro 4.7.- Comparación de medias de la Tasa de imbibición de seis genotipos de trigo durante 28 horas.

4 h			8 h			12 h		
Gen	Media	G	Gen	Media	G	Gen	Media	G
3	0.29244	A	5	0.42419	A	2	0.49978	A
2	0.28650	AB	2	0.41117	AB	5	0.48923	AB
4	0.28305	AB	6	0.41067	AB	3	0.48521	AB
6	0.27480	AB	4	0.40453	AB	1	0.46891	ABC
5	0.26823	AB	3	0.39415	B	6	0.45881	BC
1	0.26372	B	1	0.39332	B	4	0.45621	C

16 h			20 h			24 h			28 h		
Gen	Media	G	Gen	Media	G	Gen	Media	G	Gen	Media	G
2	0.54489	A	5	0.58550	A	5	0.61846	A	5	0.64043	A
5	0.54020	AB	2	0.58372	A	2	0.61616	A	2	0.63634	A
3	0.53054	AB	6	0.57263	A	3	0.59794	A	6	0.62355	A
6	0.52532	AB	3	0.56623	A	6	0.59741	A	3	0.61991	A
1	0.51353	AB	1	0.55816	A	4	0.57385	A	1	0.60312	A
4	0.49524	B	4	0.54042	A	1	0.57053	A	4	0.59897	A

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

En las siguientes ocho horas de imbibición, se formaron nuevamente dos grupos estadísticos, donde el primer grupo (A) lo formaron los genotipos 5 (AN-465-13), quien obtuvo la mayor TI), 2, 6 y 4; estos tres últimos genotipos formaron el segundo grupo, al igual que los genotipos 3 y 1 (AN-465-13 y AN-472-13), siendo este último el de menor TI (Cuadro 4.7).

En la tercera lectura, (a las 12 horas) se formaron tres grupos estadísticos, donde el primero (A) fue formado por los genotipos 2, 5, 3 y 1, de tal modo que estos tres últimos también hicieron parte del segundo grupo estadístico (B), al igual que el testigo genotipo 6 (variedad Jupare). De tal modo que nuevamente los genotipos 1, 6 y 4 hicieron parte del tercer grupo (C).

A las 16 horas de imbibición solo se formaron dos grupos estadísticos, el primero (A) fue integrado por los genotipos 2, 5, 3, 6 y 1; estos cuatro últimos genotipos formaron el segundo grupo estadístico, al igual que el genotipo 4. Se resalta aquí la bondad de realizar las pruebas de medias a pesar de que el análisis de varianza no haya detectado diferencias significativas que una prueba de medias como la DMS si detectó.

Posteriormente a las 20 horas solo se formó un solo grupo estadístico (A) donde se colocó el genotipo 5 (AN-478-13) con la mayor TI, seguidos los genotipos 2, 6, 3, 1 y 4, siendo este último AN-475-13 con la menor TI.

Transcurridas las 24 horas, se formó nuevamente un solo grupo (A), el cual no tuvo grandes cambios en el orden de los genotipos, el orden fue el siguiente: en primer lugar, continuó el genotipo 5 (AN-478-13), seguidos ahora los genotipos 2, 3, 6, 1 y 4.

Por último, a las 28 horas se formó un solo grupo (A), donde se observa el mismo orden que a las 20 horas de imbibición. Los resultados obtenidos anteriormente por Ramírez (2016), demuestra que la tasa de imbibición es diferente entre especies y variedades; ya que la tasa de imbibición en *Triticum aestivum* L. la obtuvo a las 18 horas con diferencias altamente significativas entre los tiempos.

El análisis de varianza combinado mostró alta significancia ($p < 0.01\%$) entre los tiempos de imbibición y los genotipos, mientras que en la interacción resultó no significativa en la tasa de imbibición (TI), como lo muestra el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8.- Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Tasa de Imbibición combinando tiempos y genotipos.

Fuentes de variación	gL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Tiempo	6	1.571	0.262**	425.74	<.0001
Tiempo*Rep	14	0.001	0.0001 ^{NS}	0.17	0.9996
Geno	5	0.019	0.004**	6.27	<.0001
Tiempo* Geno	30	0.009	0.0003 ^{NS}	0.49	0.9833
Error	70	0.043	0.0006		

(*) Significativo, (**) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01

En la prueba de comparación de medias entre genotipos en los tiempos de imbibición, los genotipos formaron cuatro grupos como muestra el Cuadro 4.9, teniendo en el primer grupo (A) a los genotipos 2, 5 y 3; a su vez, estos dos últimos formaron el segundo grupo (B) estadístico, junto con el genotipo (testigo, variedad Jupare). El tercer grupo (C) lo formó el genotipo 6 (testigo, variedad Jupare) y el genotipo 1 (AN-465-13), quien este junto con el genotipo 4 (AN-475-13), formaron el cuarto grupo estadístico (D).

Cuadro 4.9.- Comparación de medias de seis genotipos de trigo duro durante 28 horas de inmersión.

Grupo	Media	Genotipo
A	0.511225	2
B A	0.509461	5
B A	0.498061	3
B C	0.494742	6
D C	0.481612	1
D	0.478895	4

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

Con respecto a la prueba de comparación de medias entre los tiempos de imbibición, se encontró un ordenamiento descendente de los tiempos (Cuadro 4.9), como era de esperarse al ser calculado de forma acumulativa. El Cuadro 4.9, señala siete grupos estadísticos diferentes, confirmando las diferencias que existen en cada tiempo. El primer grupo (A), se encontró al tiempo de 28 horas con la TI más alta; seguidos los tiempos anteriores de forma descendente hasta llegar al último grupo (G), siendo el primer tiempo de evaluación a las cuatro con la menor TI. Por lo tanto, se demuestra que, al transcurrir las horas de imbibición en la semilla, la tasa de imbibición aumenta.

Cuadro 4.10.- Comparación de medias de tiempos de imbibición de seis genotipos de trigo duro durante 28 horas de inmersión.

Grupo	Media	Tiempo
A	0.620387	28
B	0.595725	24
C	0.567776	20
D	0.524954	16
E	0.476358	14
F	0.406338	8
G	0.278123	4

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes.

Análisis de regresión

Para explicar la respuesta de los genotipos en los tiempos de imbibición, se realizó un análisis de regresión, explorando los efectos lineal y cuadrático, determinándose una respuesta de tipo cuadrático para los genotipos, obteniendo las ecuaciones que aparecen en el Cuadro 4.11, junto con su coeficiente de determinación (R^2) y tiempo en el que alcanzaron su máxima tasa de imbibición.

Cuadro 4.11.- Funciones de respuesta de la variable Tasa de Imbibición, coeficientes de determinación (R^2) y tiempos donde se presentó la máxima respuesta (T. Max.) en seis genotipos de Trigo duro.

Genotipo	Función	R^2	T. max.
1	$Y= 0.1583+0.0321(X)-0.0006(X^2)$	0.988	26.75
2	$Y= 0.1741+0.0332(X)-0.0006(X^2)$	0.993	27.66
3	$Y= 0.1858+0.0301(X)-0.0005(X^2)$	0.995	25.08
4	$Y= 0.2029+0.0255(X)-0.0004(X^2)$	0.985	31.87
5	$Y= 0.1604+0.0343(X)-0.0006(X^2)$	0.984	28.58
6	$Y= 0.1751+0.0304(X)-0.0005(X^2)$	0.989	25.33

Se aprecia en dicho Cuadro 4.11, los puntos máximos de la variable Tasa de Imbibición que oscilaron entre las 25.08 y 31.87 horas, presentados por los genotipos cuatro y tres respectivamente, destacando el comportamiento de genotipo tres, que obtuvo su punto máximo de tasa de imbibición en el menor tiempo, aunque similar al mostrado por el testigo (genotipo 6), quien alcanzó en segundo lugar la tasa máxima.

Por otra parte, los coeficientes de determinación (R^2) oscilaron entre 98.4 y 99.5%, dando confiabilidad a las relaciones detectadas, pues aporta una excelente explicación de la Tasa de Imbibición con base en el tiempo de imbibición.

Como se observa en el cuadro antes mencionado todos los genotipos tardaron en alcanzar el punto máximo, ya que anteriores investigaciones, realizadas en trigos harineros alcanzaron su tasa máxima en menor tiempo: Ramírez (2016) (12-18 horas), Reboseño (2018) (5.88-14.35 horas) y García (2019) (13.98-20.94 horas). A esto se debe a que cada especie o genotipo absorbe agua a diferentes velocidades y magnitudes.

Capacidad de germinación en respuesta al hidroacondicionamiento

En el Cuadro 4.12, se observan los resultados de los análisis de varianza y su nivel de significancia de las variables evaluadas que se consideran para calificar la

capacidad de germinación, donde se muestra que en el caso de la variable plántulas normales y semillas sin germinar hubo diferencias altamente significativas entre los genotipos, en tanto que en la variable plántulas anormales, se detectaron diferencias no significativas. Indicando que hubo un comportamiento diferente entre los genotipos y diferencias reales en las variables de estos. Estos resultados concuerdan con el trabajo de investigación realizado por García (2019), quien también encontró diferencias significativas en las variables PN y SSG, pero no en PA al evaluar 10 genotipos de *Triticum aestivum* L.

Cuadro 4.12.- Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Capacidad de germinación de seis genotipos de trigo hidroacondicionados.

Fuente Variación	gL	PN	PA	SSG
Tratamientos	3	3202.370**	54.148 NS	2564.370**
Genotipos	5	397.155 NS	170.000 NS	88.222 NS
TRAT*GEN	15	176.948 NS	87.037 NS	106.237 NS
Error Exp	48	209.555	88.000	93.333
C.V.		19.982	144.320	45.883

(*) Significativo, (**) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01, CV= % de coeficiente de variación, (Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG))

Posteriormente se elaboraron pruebas de medias para detectar diferencias entre tratamientos, de acuerdo al Cuadro 4.13, para la variable plántulas normales (PN), refleja dos grupos estadísticos, donde el primer grupo (A) lo formaron aquellos tratamientos con un mayor porcentaje de germinación, como es el tratamiento 2 (50%), seguido del tratamiento 3 (75%) y 1 (25%) con valores de 81, 80 y 75% respectivamente; en el segundo grupo (B) solo se encontró al tratamiento 4 (100%) con el menor porcentaje de germinación.

Para la variable plántulas anormales (PA) en el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas y la prueba de medias confirmó dichos resultados pues todos los tratamientos compartieron el mismo grupo de significancia. Los tratamientos 4 (100%) y 2 (50%), se ubicaron numéricamente en primer y segundo lugar respectivamente.

En cuanto a la variable semillas sin germinar (SSG), la prueba de comparación de medias reflejó tres grupos estadísticos; donde el tratamiento 4 (100%) integra el primer grupo (A) con el mayor porcentaje de SSG, el segundo grupo estadístico lo formaron los tratamientos 1 (0%) y 3 (75%), este último también formó el tercer grupo, al igual que el tratamiento 2 (50%), este último con el menor porcentaje.

La existencia de un exceso de agua como es el tratamiento 4 (100%) impide por regla general, la germinación de las semillas, o por lo menos afecta negativamente a los porcentajes finales de germinación. Un exceso de agua también puede llegar a ser desfavorable al dificultar la llegada de oxígeno al embrión. Por ello algunas especies impiden la germinación, en presencia de un exceso de agua, generando una capa de mucílago que dificulta la entrada de suficiente oxígeno como para que se inicie la germinación (Besnier, 1989).

Cuadro 4.13.- Comparación de medias entre los tratamientos de hidroacondicionamiento en las variables de Capacidad de germinación.

PN			PA			SSG		
G	Media	Trat	G	Media	Trat	G	Media	Trat
A	81.778	2	A	8.889	4	A	38.222	4
A	80.000	3	A	6.667	2	B	19.778	1
A	75.111	1	A	5.333	3	C B	14.667	3
B	52.889	4	A	5.111	1	C	11.556	2

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes. (Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG))

En el siguiente cuadro (Cuadro 4.14) se muestran las medias de las variables PN, PA, y SSG comparándolas entre genotipos, donde podemos observar la formación de dos grupos estadísticos. El primer grupo está formado por el genotipo 6 (testigo, variedad Jupare), con el mayor porcentaje (77.333), después le siguen los genotipos 1, 3, 2, y 5; estos últimos formaron el segundo grupo, en el que también se encuentra el genotipo 4 (AN-475-13).

De igual forma para la variable PA solo se formaron dos grupos. En el primer grupo estadístico sobresale el genotipo 4 (AN-475-13) con el mayor porcentaje de plantas anormales, seguido de los genotipos 5 y 1. El segundo grupo fue formado por los dos últimos genotipos, al igual que los genotipos 3, 6 y 2.

Para la última variable (SSG), solo se formó un solo grupo estadístico; esto quiere decir que no hubo diferencias estadísticas en sus medias; aunque el Cuadro 4.14 muestra diferencias numéricas de las medias entre tratamientos, en las que destaca en primer lugar el genotipo 5 (AN-478-13), con el mayor porcentaje y en último lugar al 1 (AN-465-13), con el menor porcentaje.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de medias, los tratamientos de hidroacondicionamiento afectaron la germinación de los genotipos, ya que se observó en la variable plántulas normales un bajo porcentaje de germinación y aumento en los porcentajes de semillas sin germinar. El genotipo que se vio más afectado fue el 4 (AN-475-13), con bajo porcentaje de plántulas normales y altos porcentajes de plántulas anormales y semillas sin germinar.

El trabajo realizado por Méndez et al (2008) en semillas de maíz imbibidas, obtuvo como resultado que a mayor tiempo de imbibición disminuyó el porcentaje de germinación.

Cuadro 4.14.- Comparación de medias entre los genotipos hidroacondicionados en las variables de capacidad de germinación.

PN			PA			SSG		
G	Media	Gen	G	Media	Gen	G	Media	Gen
A	77.333	6	A	13.000	4	A	24.000	5
A	77.000	1	BA	9.000	5	A	23.333	4
A	76.000	3	BA	5.333	1	A	23.000	2
BA	73.667	2	B	4.333	3	A	19.667	3
BA	67.000	5	B	4.000	6	A	18.667	6
B	63.667	4	B	3.333	2	A	17.667	1

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes. (Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Geminar (SSG))

Vigor de la semilla

Para comparar el vigor de la semilla entre los genotipos se realizó un análisis de varianza; el Cuadro 4.15 muestra los resultados obtenidos para cada variable. En donde se destaca que existieron diferencias altamente significativas en la variable longitud media de plúmula, indicando que hubo un comportamiento diferente entre los genotipos y diferencias reales, excepto en longitud media de radícula y peso seco de plántulas, por lo cual se piensa que los genotipos se comportaron de la misma manera en estas dos variables. Este resultado difiere al de García (2019), quien encontró diferencias altamente significativas en las variables LMP y PS.

Cuadro 4.15.- Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables de Vigor de seis genotipos de trigo hidroacondicionados.

Fuente de Variación	gL	LMP	LMR	PS
Tratamientos	3	9.128**	366.957 NS	0.0000138 NS
Genotipos	5	2.679 NS	434.448 NS	0.0000183 NS
TRAT*GEN	15	2.158 NS	326.219 NS	0.0000183 NS
Error exp	48	2.679	434.448	0.0000185
C.V.		21.218	139.871	29.226

(*) Significativo, (**) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01, CV= % de coeficiente de variación; (Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS))

Una vez obtenido el análisis de varianza se procedió a hacer una comparación de medias entre tratamientos, en el cual los resultados se observan en el Cuadro 4.16; se formaron dos grupos estadísticos en la variable Longitud Media de Plúmula (LMP). El primer grupo (A) lo formaron los tratamientos 2 (50%), con la mayor longitud (8.75 cm/plántula), seguido del tratamiento 1 (25%) y 3 (75%) respectivamente. El segundo grupo lo formó solo el tratamiento 4 (100%), con la menor longitud de plúmula.

Por otra parte, en los resultados de las variables Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS) solo se formaron un grupo en cada variable, lo que significa que las variables de estos tratamientos se comportaron estadísticamente

iguales, sin diferencias significativas, aunque numéricamente en la variable LMR, resultó con mayor longitud de radícula el tratamiento 2 (50%) y el tratamiento 4 (100%) con la menor longitud. En la variable PS se destacó numéricamente el tratamiento 1 (25%) con el mayor peso seco (mg/plántula) y el tratamiento 2 (50%) con el menor peso seco.

De acuerdo a los resultados en la prueba de medias, podemos observar que los tratamientos de hidroacondicionamiento afectaron a las variables ya que la variable LMP tiene una longitud menor en comparación a la variable LMP en la prueba de vigor inicial, en la variable LMR solo el tratamiento 2 (50%) aumento la longitud de radícula y en PS no se observó un aumento, en comparación al PS inicial.

Cuadro 4.16.- Comparación de medias de las variables de Vigor entre tratamientos de hidroacondicionamiento.

LMP			LMR			PS		
G	Media	Trat	G	Media	Trat	G	Media	Trat
A	8.7556	2	A	23.148	2	A	0.015305	1
A	8.4956	1	A	13.243	3	A	0.014937	4
A	8.3733	3	A	11.869	1	A	0.014237	3
B	5.2311	4	A	11.347	4	A	0.013993	2

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes. (Longitud Media De Plúmula (LMP), Longitud Media De Radícula (LMR) y Peso Seco (PS))

Posteriormente se elaboraron pruebas de medias para detectar diferencias entre genotipos, los resultados se muestran en el Cuadro 4.17, donde se observa que, en la variable LMP se formaron dos grupos estadísticos, en el primero (A) se encuentra el genotipo 6 (testigo, variedad Juapre) con mayor longitud media de plúmula, seguido por los genotipos 1, 3 y 2; estos dos últimos también formaron el segundo grupo (B), al igual que el genotipo 5 (AN-478-13) y 4 (AN-475-13) con menor longitud de plúmula).

En las variables LMR y PS no hubo diferencias significativas entre los genotipos al igual que en la comparación de medias entre tratamientos. Los genotipos se comportaron estadísticamente iguales; encontrando diferencias numéricas para ambas variables. En la variable LMR se destacó numéricamente el genotipo 4 (AN-475-13), con la mayor longitud media de radícula y en último lugar se encuentra en genotipo 2 (AN-470-13), con la menor longitud. Para la variable PS sobresalió numéricamente el genotipo 5 (AN-478-13) con el mayor peso seco, quedando en último lugar el genotipo 4 (AN-475-13) con menor peso seco.

Comparando el vigor inicial de los genotipos con el vigor de los genotipos sometidos a los tratamientos de hidroacondicionamiento, podemos observar que los genotipos hidroacondicionados tuvieron una LMP menor al inicial, los tratamientos no aumentaron la LMP, en el caso de LMR solo el genotipo 4 (AN-475-13) sometido a los tratamientos sobresalió al aumentar su longitud de radícula, el resto de los genotipos obtuvieron menor longitud al vigor inicial, en PS los tratamientos no influyeron en el aumento, el PS inicial es superior al de los genotipos hidroacondicionados.

En las mismas variables, García (2019) reportó la integración de cinco grupos estadísticos en LMP, dos en LMR y PS, sugiriendo una mayor diversidad solo en una variable en los genotipos que estudió.

Cuadro 4.17.- Comparación de medias de las variables de Vigor entre genotipos de trigo hidroacondicionados.

	LMP			LMR			PS		
	G	Media	Gen	G	Media	Gen	G	Media	Gen
A	8.4267	6	A	26.235	4	A	0.015010	5	
A	8.3100	1	A	13.540	6	A	0.015001	6	
BA	8.0133	3	A	13.044	1	A	0.014984	2	
BA	7.7767	2	A	13.004	3	A	0.014699	1	
B	6.9033	5	A	11.878	5	A	0.014470	3	
B	6.8533	4	A	11.711	2	A	0.013545	4	

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes (Longitud Media De Plúmula (LMP), Longitud Media De Radícula (LMR) y Peso Seco (PS))

Índice de velocidad de emergencia

Los resultados del análisis de varianza de las variables que indican el índice de velocidad de emergencia (IVE) en condiciones de laboratorio (IVELAB) e invernadero (IVEINV), se muestran en el Cuadro 4.18, donde se observan diferencias altamente significativas entre los genotipos de las dos variables, esto quiere decir que los genotipos se comportaron de manera diferentes durante la evaluación, tanto en laboratorio como en invernadero.

Cuadro 4.18.- Cuadrados medios y nivel de significancia de la variable Índice de Velocidad de Emergencia de seis genotipos de trigo duro.

FV	GL	IVELAB	IVEINV
Genotipos	23	448.13552 **	13.5613650 **
Error Exp.	48	113.67515	0.9999564
Total	71		
C.V.		25.02538	21.82169

(*) Significativo, (**) Altamente significativo, (NS) No significativo, P: 0.05, 0.01, CV= % de coeficiente de variación; INVELAB= índice de velocidad de emergencia en laboratorio; IVEINV= índice de velocidad de emergencia en invernadero.

La prueba de medias de tratamientos (Cuadro 4.19) muestra en la variable IVELAB que, se apreció la formación de tres grupos estadísticos. El grupo uno (A) lo forma el tratamiento 2 (50%), mayor índice de velocidad de emergencia, el grupo dos (B) lo formaron los tratamientos 3 y 4 y el tercer grupo estadístico lo formó el tratamiento 1 (25%), menor índice de velocidad de emergencia.

Para la variable IVE en condiciones de invernadero se observan comportamientos diferentes entre los tratamientos, donde podemos observar que al igual que en el caso anterior también se formaron tres grupos estadísticos. El primer grupo (A) lo formó el tratamiento uno (25%); caso contrario a la variable anterior donde se

encuentra en último lugar. El tratamiento 2 (50%) se encuentra en el segundo grupo (B) y el tercer grupo (C) lo formaron el tratamiento 3 (75%) y 4 (100%).

Al comparar la media de los tratamientos de las dos variables, se puede observar que el comportamiento de los tratamientos es muy diferente entre variables y en algunos casos contrastantes, esto se debe a las condiciones en las que se realizaron las pruebas. Las condiciones de laboratorio fueron las más adecuadas en cuanto a factores para la germinación, en cambio, en invernadero los factores para la germinación fueron muy distintos. Los ambientes de ambas pruebas hacen que los tratamientos se comporten muy diferentes.

Cuadro 4.19.- Comparación de medias del Índice de Velocidad de Emergencia de cuatro tratamientos de hidroacondicionamiento.

IVE LAB			IVE INV		
G	Media	Trat	G	Media	Trat
A	52.583	2	A	7.5485	1
B	43.972	3	B	5.3167	2
B	43.972	4	C	2.8570	3
C	29.889	1	C	2.6078	4

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes. INVELAB= índice de velocidad de emergencia en laboratorio; IVEINV= índice de velocidad de emergencia en invernadero.

Posteriormente se realizó una comparación de medias de la misma variable, bajo las mismas condiciones (laboratorio e invernadero), pero ahora se compararon entre genotipos. El Cuadro 4.20 muestra que en la variable IVE en laboratorio se formaron tres grupos estadísticos, en el primer grupo (A) se encuentra a los genotipos 3 (AN-472-13), 6 (Jupare) y 1 (AN-465-13). El segundo grupo (B) lo formaron los últimos dos genotipos mencionados anteriormente al igual que el

genotipo 4; que a su vez también formo parte del tercer grupo (C), junto a los genotipos 5 (AN-478-13) y 2 (AN-470-13).

En la segunda variable (IVEINV) podemos observar la formación de tres grupos estadísticos, en el que destacan los genotipos 1 (AN-465-13) y 2 (AN-470-13) en el primer grupo (A). el segundo grupo (B) lo formaron los genotipos 5, 4 y 3, estos dos últimos también formaron parte del tercer grupo (C), al igual que el genotipo 6 (testigo).

En los resultados del cuadro 4.20 se puede comparar el comportamiento del testigo, la variedad comercial Jupare con las líneas experimentales, donde se observa que las líneas experimentales tuvieron mejor respuesta en las dos condiciones. La variedad comercial responde mejor en condiciones de laboratorio que en condiciones de invernadero, ya que se posicionó en segundo lugar.

Cuadro 4.20.- Comparación de medias del Índice de Velocidad de Emergencia de seis genotipos hidroacondicionados.

IVE LAB			IVE INV		
G	Media	Gen	G	Media	Gen
A	51.611	3	A	6.1714	1
BA	47.667	6	A	5.8433	2
BA	47.431	1	B	4.4458	5
BC	40.167	4	CB	4.2940	4
C	35.486	5	CB	3.4655	3
C	33.264	2	C	3.2749	6

Medias que tengan la misma letra no son significativamente diferentes. INVELAB= índice de velocidad de emergencia en laboratorio; IVEINV= índice de velocidad de emergencia en invernadero.

V. CONCLUSIONES

Conforme a la hipótesis planteada al inicio del estudio, se logró obtener información relevante que da una alternativa para la técnica de hidroacondicionamiento de semillas de trigo duro, llegando a las siguientes conclusiones:

La variedad comercial (Jupare) contó con los mejores porcentajes en las variables iniciales de calidad fisiológica en comparación a las líneas experimentales.

En la fase de imbibición los genotipos se comportaron de manera diferente alcanzando su tasa máxima después de 25 horas. El genotipo 3 (AN-472-13) mostró una tasa de imbibición similar a la del testigo comercial (Jupare).

El hidroacondicionar la semilla al 50% de su tasa de imbibición provocó la mejor respuesta en germinación y vigor.

El hidroacondicionamiento no modificó el vigor con base en el peso seco registrado en los genotipos evaluados.

En el índice de velocidad de emergencia se observó una rápida germinación tanto en laboratorio como en invernadero. El hidroacondicionamiento a 50% del punto máximo de imbibición incrementó el IVE en laboratorio. El hidroacondicionamiento a 25 % del punto máximo de imbibición incrementó el IVE en invernadero.

VI. LITERATURA CITADA

- Álvarez, C.R. 2007. Estadística aplicada a las ciencias de la salud. Ediciones Díaz de Santos. 1030 p.
- AOSA (Association of Official Seed Analysts, US). 1983. Seed vigour testing handbook. Lincoln, USA. AOSA.88 p.
- Artola, A. G.; Carrillo, C. and García, de los S. G. 2003. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Sci. Tech.* 31:455-463.
- Azcón -Bieto, J y Talón M. 1993. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana/McGraw-Hill.
- Bedri. 2010. Taxonomía del cultivo del trigo. Terminología del Trigo. California-EEUU. S. edt. Pp 38-40.
- Besnier R. F. 1989. Semillas. Biología y Tecnología. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 637 p.
- Bewley J. y Black M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relations to germination. Vol. 2. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag, Berlin.
- Bidwel, R.G.S.1990. Fisiología vegetal. A.G.T. editor, 1a edición. México.
- Bing, B.; Sikron, N.; Gendler, T.; Kazachkova, Y.; Barak, S.; Grafi, G.; Khozin-Goldberg, I. and Fait, A. 2012. Ecotypic variability in the metabolic response of seeds to diurnal hydration-dehydration cycles and its relationship to seed vigor. *Plant Cell Physiol.* 53:38-52.
- Bradford K. J. 1995, Water relations in seed germination, Ed By J. Kigel and G. Galili; New York, Basel, Hong Kong, Marcell Deker, Inc. p.351-396.
- Buitink, J.; Hoekstra, F. A. and Leprince, O. 2002. Biochemistry and biophysics of tolerance systems. In: Black, M. and Pritchard, H. W. (Eds.). Desiccation and survival in plants. Drying without dying. CABI Publishing Wallingford, Oxon. 293-318 pp.

- Butola, J.S. and Badola, H.K. 2004. Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in *Angelica glauca*, a threatened medicinal herb. *Current Science* 87(6): 796–799.
- Calaveras, J. 2004. *Nuevo Tratado de panificación y bollería*. Madrid: AMV.
- CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo). 2014. Reporte estadístico al 2013. México. CANIMOLT. México. 98 p.
- Correa J. 1990. El proceso de la germinación. Seminario taller sobre investigación en semillas, (18). Folleto técnico.
- Courtis A. C. 2013. Germinación de semillas, cátedra de fisiología vegetal [Guía de estudio, recuperada de: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/GuiadeestudioGerminacion.pdf>.] Noviembre de 2015
- Delouche J.C. 1979. *Seedsmen's digest*. Marzo- agosto.
- Domínguez S., Dominguez A., Gonzales A., Navarro S. 2007. Cinética de imbibición e isotermas de adsorción de humedad de la semilla de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6(3):309-316.
- Duffus C. y Slaughter C. 1985. *Las semillas y sus usos*. A.G.T. Editor, S.A México.
- Egli, D.B., and Tekrony, D. M. 1977. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. *Seed Sci. Res.* 7. 3-11.
- Farias, R. M. J.; Buitink, J.; Van L., A. A. M. and Hilhorst, M. W. H. 2005. Changes in DNA and microtubules during loss and re-establishment of desiccation tolerance in germinating *Medicago truncatula* seeds. *J. Exp. Bot.* 418:2119-2130.
- Gámez A., N. A. Ruiz T., M. De la O O., F. P. Gámez V., A Ascencio A., M. A. Ávila P. Y J. Virgen V. 2015. Calidad fisiológica de semilla y desarrollo de plántulas de maíz a temperaturas bajas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. pp. 1769-1779.
- García Breijo J; Rosello C. J; Santamarina S. M. P; 2001. *Iniciación a la fisiología de las plantas*, Ed. Universidad Politécnica de Valencia, pág. 164-165.
- García V., L. A. 2019. Comparación de líneas elite vs variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) a través de pruebas fisiológicas. Tesis de nivel licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.

- Giri G.S., Schillinger W.F. 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence and yield. *Crop Sci* 43:2135-2141.
- Hincapié, E., Torres J. & Bueno, L. 2010. Efecto del campo magnético sobre la germinación de la *Leucaena leucocephala*. *Scientia et Technica*, 44, 337-341.
- Hoekstra, F. A.; Golovina, E. A. and Buitink, J. 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trens Plant Sci.* 6:431-438.
- INFOAGRO. 1997. Cultivo del sorgo. Disponible en la página web: <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>.
- INFOAGRO. 2012. Cereales: Trigo. IICA. Recuperado de <http://www.infoagro.com/herbáceos/cereales/trigo.htm>
- ISTA 1993. International Rules for Seed Testing Association. Edition 1993/5: 1200 copies. Zürich. ISBN: 3-906549-27-5.
- ISTA 2003. ISTA Flower Seed Testing Workshop. 12-16 May, 2003, Budapest (Hungary).
- ISTA. 1992. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*, Vol. 20, Supplement. 203 pp.
- Janick J., C. Parera and D. Cantliffe, 2010. Horticultural reviews volume 16. Presowing Seed Priming. Horticultural Sciences Department, University of Florida.
- 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.
- Lovato, A. 1981. *Advances in Research and Technology of Seeds*. Part 6. PUDOC, Wageningen, pp 86-120. ISBN: 90-220-0786-3.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop. Sci.* 2:176-177.
- McDonald M.B. 2000, Seed priming, In: *Seed technology and its biological basic*, Ed. By M. Black and J.D. Bewley, Sheffiet, Academic Press, p. 286 - 325.
- 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.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho [*Cajanus cajan* (L.) Mill]. *UDO Agrícola*, 8, 61-66.

- Montejo, L., J.A. Sánchez y B. Muñoz. 2002. Incremento de la germinación en semillas de fruta bomba por aplicación de tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación. *Cultivos Tropicales*. 23: 27-31.
- 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.
- Oliver, MJ, Z. Tuba y BD Mishler. 2000. La evolución de la tolerancia a la desecación vegetativa en plantas terrestres. *Plant Ecology* 151: 85-100.
- Orta, R.; Sánchez J. A., Muños B. y Calvo E. 1998. Modelo de hidratación parcial en agua para tratamientos revigorizadores, acondicionadores, robustecedores de semillas. *Acta Botánica Cubana*. Vol 121. pág. 1-8.
- Padrón, C. E., 1996., Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería, Editorial Trillas.
- Pérez J.; Borel y Bertsch R. 1984. Elementos prioritarios en la nutrición mineral de *Leucaena leucocephala* (Lam), en un suelo ácido de Costa Rica, Turrialba, 34 (1), pp. 91-98.
- Pérez, C.; Hernández, A.; González, F. V.; García, G.; Carballo, A.; Vásquez, T. R. y Tovar, M. R. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Méx.* 32(3):341-352.
- Perry, D. A. 1977. A vigor test for seeds of barley (*Hordeum vulgare*) based on measurement of plumule growth. *Seed Sci. Technol.* 5: 709 – 719.
- Purcell E. J., Varberg D., and Rigdon S. E. 2007. *Cálculo*. 9a ed., Ed. Pearson, pp. 151-214.
- Ramirez M., J. L. 2016. Tasa de Imbibición y su Relación con la Fisiología de las Semillas en Siete Genotipos de Trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis de nivel licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.
- Rangel F. M. A., Córdova T. L., y 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 pre acondicionamiento. Tesis de nivel licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila.

- Sánchez, A.; Orta, R.; Muñoz, B. 2001. Tratamientos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*, 25: 67-92.
- Sánchez, J.; Mejía, A. J. A; Hernández, A.; Peña, A. y Carballo, C. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. *Agric. Téc. Méx.* 33:115-123.
- Sánchez-Pérez M.I.2010. Cambios físico-químicos durante la germinación del maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* Vol. 1. No.1. 2010.89-93.
- SAS Institute Inc. (2009). *The SAS System for Windows 9.0*. Cary, N.C. USA.
- SNICS. 2014. Regla para la clasificación de semilla de avena, cebada, centeno, trigo y triticale. En línea: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/172406/Cereales.pdf>.
- Steel R G., y Torrie, J H. 1980. *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach (2nd Ed.)*. McGraw-Hill, New York. 629p.
- Suárez, D. y L.M., Melgarejo. 2010. Biología y germinación de semillas. Capítulo 1, pp. 13-24. En: Melgarejo, L.M. (ed.). *Experimentos en fisiología vegetal*. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 277 pp.
- Torres T.M.A. 2004. Identificación y cuantificación de proteínas en semillas de maíz relacionadas con germinación y vigor. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Zarco-Hernández, J., Michelena, A., & Royo, C. 1999. Calidad del trigo duro en España. *Barcelona: Cultivos extensivos. Vida Rural* nº 92: 15-25.