

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Tasa de Imbibición y Conductividad Eléctrica en Semilla de Cinco Genotipos de  
Cebada Forrajera y de Grano

Por:

**CLAUDIA YEDID TRUJILLO SÁNCHEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.  
Marzo, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Tasa de Imbibición y Conductividad Eléctrica en Semilla de Cinco Genotipos de  
Cebada Forrajera y de Grano

Por:

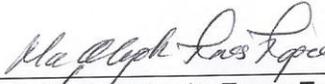
**CLAUDIA YEDID TRUJILLO SÁNCHEZ**

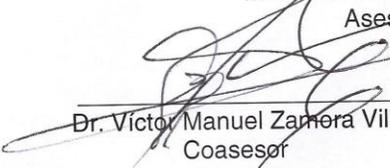
TESIS

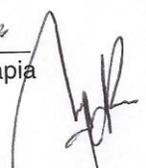
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
M.P. María Alejandra Torres Tapia  
Asesor Principal

  
Dr. Víctor Manuel Zamora Villa  
Coasesor

  
M.C. Modesto Colín Rico  
Coasesor

  
Dr. Gabriel Galegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.  
Marzo, 2016

  
Coordinación  
División de Agronomía

## **DEDICATORIAS**

### **A mi Madre: Columba Sánchez Benítez**

Por tu amor incondicional, por confiar en mi cuando nadie más, por tantas oportunidades brindadas que más que una oportunidad fueron lecciones de vida que me enseñaron que nada es imposible, a ti que más que ser mi madre eres mi amiga a quien nunca podré pagar todos sus desvelos y sacrificios ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por tus consejos que estuvieron a la orden del día para que siempre tomara la mejor decisión. Gracias por enseñarme que la distancia no es importante si confían en ti.

Para ti: Mi único amor verdadero. Te Amo...!!!

### **A mi Padre: J. Efrén Trujillo Diego**

Por el amor, respeto y confianza puestas en mí. Por tus palabras de aliento y admiración que aunque no fueron muy constantes, hacían que día a día luchara por ser mejor persona porque me enseñaste, que con actitud y ganas todo es posible, que no existe obstáculo alguno que no podamos derribar. Por eso y mil motivos gracias por estar y no estar.

Para ti: Mi todo. Te Amo!

### **A mis Hermanos:**

Irving, Esbeydy, Edgar, y María Aidiana Trujillo Sánchez por su gran apoyo y amor incondicional en todos los sentidos, por las experiencias vividas que me enseñaron que nadie puede cambiar lo que realmente eres, por compartir tantos momentos de alegría y tristezas.

Los llevo en mi corazón y eso es lo realmente significativo.

### **A mis Sobrinos: Brandon, Heidi y Grecia**

Por los mil sentimientos que causan en segundos en mí, porque no existe palabra alguna que describa lo que significa tenerlos en mi vida. Sé que en algún momento podrán leer estas líneas y comprenderán cada palabra. Quiero decirles que están presentes en mi corazón a cada paso que doy, que en todo momento pienso en ustedes y me dedico a ser mejor persona. Gracias por ser la inspiración y motivo para afrontar mis miedos y acrecentar mi formación personal y profesional.

Gracias por darme el impulso de volar cada vez más alto, esto es por ustedes.  
Los Amo...!!!

### **A toda mi Familia: Tías, tíos, primos y primas**

Por brindarme siempre su apoyo incondicional, por permitirme ser parte de su familia, por confiar en mí y motivarme a seguir con mis estudios, pero sobre todo por ser mi pilar de apoyo para lograr esta meta.

### **A mis Amigas (os):**

Karmen Zúñiga, Myr C. Méndez, Carmen Vázquez, Julio C. Arregoite, Diana Vargas, Mary C. Cruz, Carlos, Raydel, Geovanny, Lizbeth, Marianne, Miriam, Adi, Daniel, Neftalí, Iván e Ivonne Cruz.

Por la oportunidad de ser yo quien compartiera con ustedes momentos de alegría y tristeza, por descubrir que en cada uno de ustedes hay una persona especial. Aprendí a compartir y disfrutar mis mejores momentos con ustedes, en especial a ti Bere por ser mi cómplice en momentos buenos y malos, por tus palabras de aliento, y porque no, ¿algún regaño? que me hacían reflexionar las cosas. Gracias por hacer de mí una mejor persona.

Gracias por formar parte de este ciclo tan maravilloso, con ustedes la pasé sin duda de lo mejor.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios:**

Qué más puedo decirte que no sepas, “Gracias” por llenarme de energía, por confiar en mí, por estar conmigo en buenos y malos momentos, por enseñarme que la vida siempre te da motivos para seguir adelante, simplemente por ser quien más influye en mi para ser mejor persona en todos los sentidos.

Por eso y muchos más motivos. Gracias...!!!

### **A mi Alma Mater:**

Por la oportunidad brindada de formar parte de ella, por haberme abierto sus puertas, por alimentarme de sus conocimientos, sabiduría y educación a través de sus maestros quienes me han formado profesionalmente como agrónomo. Por la gran cantidad de recuerdos que jamás olvidare.

### **A la MP. María Alejandra Torres Tapia**

Debo agradecerle de manera especial y sincera por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntas, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

Muchas gracias.

**Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa**

Por su valiosa ayuda, colaboración en el análisis estadístico, revisión y asesoría de este trabajo porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de este trabajo. Gracias.

**Al MC. Modesto Colín Rico**

Por su participación y colaboración en la realización de esta tesis.  
Gracias

**A la Lic. Gabriela González Moreno**

Por su valioso apoyo y cariño incondicional, por la colaboración en la revisión y asesoría de este trabajo porque sin su apoyo no hubiera sido posible.

Gracias

## ÍNDICE CONTENIDO

DEDICATORIAS .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos .....	5
Hipótesis .....	5
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
Origen del Cultivo .....	6
Importancia Económica .....	6
Clasificación Taxonómica .....	7
Morfología .....	8
Hojas .....	8
Raíces. ....	8
Tallo. ....	8
Flores. ....	8
Fruto. ....	8
Grano. ....	8
Producción del Cultivo .....	9
Producción Mundial .....	10
Producción Nacional .....	11
Requerimientos Climáticos y Edáficos .....	11
Fotoperiodo .....	11
Clima .....	11
Precipitación (Agua) .....	12
Humedad Ambiental .....	12
Temperatura .....	12

Luz .....	13
Viento .....	13
Textura de Suelo .....	13
Profundidad del Suelo .....	13
Salinidad.....	14
PH .....	14
Drenaje.....	14
Mejoramiento Genético en Cebada .....	14
Proceso de Germinación .....	15
Primera fase: Imbibición de Semillas (Hidratación) .....	16
Segunda fase: Activación Enzimática (Germinación) .....	17
Tercera fase: Elongación de Tejido (Crecimiento) .....	18
Acondicionamiento (Tratamiento Pre germinativos) .....	18
Conductividad Eléctrica .....	20
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
Ubicación del Experimento .....	22
Materiales Genéticos .....	22
Descripción de Materiales .....	22
Esperanza .....	22
Cerro prieto .....	23
Línea Narro-95 .....	23
Líneas Narro-190-Narro-221 .....	23
Metodología .....	23
Tasa de Imbibición.....	24
Conductividad Eléctrica .....	25
Diseño Experimental.....	25
Análisis de Regresión .....	26
Correlación .....	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>28</b>
Tasa de Imbibición.....	29
Conductividad Eléctrica .....	31

Volumen Absorbido .....	34
Análisis de Regresión .....	35
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>		<b>Pág.</b>
4.1	Cuadrados medios y significancia del análisis de combinado para las variables TI, CE y VA evaluadas en cinco genotipos de cebada en condiciones de laboratorio.....	28
4.2	Cuadrados medios y nivel de significancia en los genotipos estudiados por su tasa de imbibición en los diferentes tiempos.....	29
4.3	Prueba de comparación de medias en Tasa de Imbibición entre los genotipos estudiados de cebada a través de los tiempos de imbibición.....	30
4.4	Cuadrados medios y nivel de significancia en los genotipos estudiados de cebada en los diferentes tiempos en la respuesta de la Conductividad Eléctrica...	32
4.5	Prueba de comparación de medias en Conductividad Eléctrica entre los genotipos estudiados de cebada a través de los tiempos de imbibición.....	32
4.6	Cuadrados medios y nivel de significancia en los genotipos estudiados de cebada en los diferentes tiempos en la respuesta de Volumen Absorbido.....	34
4.7	Prueba de comparación de medias en Volumen Absorbido entre los genotipos estudiados de cebada a través de los tiempos de imbibición.....	35
4.8	Funciones de respuesta de la tasa de imbibición y conductividad eléctrica, coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempo donde se presentó la máxima respuesta (T.Max.) en genotipos de cebada.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>		<b>Pág.</b>
4.1	Tasa de imbibición ajustada por el contenido de humedad de la semilla de los genotipos de cebada.....	31
4.2	Conductividad eléctrica de los genotipos de cebada evaluados.....	33

## **RESUMEN**

Cinco genotipos de cebada (tres líneas forrajeras y dos variedades de grano) fueron usadas para determinar su tasa de imbibición, volumen de agua absorbida y conductividad eléctrica, obtener su respuesta y valor máximo.

Se evaluaron en laboratorio mediante un diseño completamente al azar con tres repeticiones a intervalos de cuatro horas. Los datos se analizaron como completamente al azar para cada lectura y como parcelas divididas para el conjunto de lecturas efectuadas, considerando las lecturas como parcela grande y genotipos como parcela chica.

Los resultados mostraron significancia ( $p < 0.01$ ) entre lecturas y genotipos para las tres variables y hubo significancia en la interacción lecturas\*genotipos sólo para conductividad eléctrica. La respuesta del agua absorbida fue lineal, mientras la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica mostraron una respuesta cuadrática.

Los valores máximos de la tasa de imbibición ocurrieron entre las 24.26 y 29.76 horas y para conductividad eléctrica se presentó entre las 6.25 y 8.50 horas. Altas correlaciones positivas y significativas fueron encontradas entre las tres variables, concluyendo que dada la asociación entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica cualquiera de ellas puede usarse como indicador de la otra.

La cebada, por presentar cubiertas adheridas en su semilla requiere mayor tiempo de imbibición.

Correo electrónico; Claudia Yedid Trujillo Sanchez, [klauuu\\_08@hotmail.com](mailto:klauuu_08@hotmail.com)

## **Palabras clave**

Conductividad eléctrica, tasa de imbibición, semilla, cebada.



## I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, la producción de cebada para grano ocupa el séptimo lugar en importancia, teniendo su cultivo producido en alguno de los dos ciclos en estados de la República (SAGARPA 2006), en donde se cosechan en promedio 313,000 hectáreas con un rendimiento medio de 2,397 kg/ha en riego y temporal y un volumen de producción de 750,261 toneladas de grano al año (Cabañas, 2004).

Alrededor de 100 millones de hectáreas productivas en México, se ubican en zonas áridas o semiáridas y un 70 % del territorio nacional presenta suelos con pendientes pronunciadas limitando la agricultura y ganadería convencional (Sánchez *et al.*, 2010).

Los productores de engorda de ganado o producción de sus derivados en estas regiones áridas y semiáridas enfrentan problemas eminentes por la escasez de forraje fresco, ya sea por la falta de agua o las limitaciones de la productividad de un suelo accidentado, lo que ocasiona abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, problemas de fertilidad, o la muerte de los animales, especialmente a nivel de pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores (Sánchez, 2013).

La necesidad de aportar soluciones para la producción de forraje en distintos ambientes y sistemas de producción, ha encontrado que la cebada forrajera es, uno de los cultivos alternos de alto potencial de producción y adaptación a pastoreo en suelos y climas contrastantes.

Este cultivo es considerado adaptable a diversos tipos de suelo, en general, se desarrolla bien en suelos ligeros bien drenados y en migajones con

buena fertilidad. La textura óptima es de tipo franco (medio) y migajón-arenosa (FAO, 1994). Es altamente tolerante a la salinidad y muy tolerante a suelos alcalinos, pero no a suelos ácidos, se desarrolla entre un pH de 6.5 a 8.0 (Moreno, 1992).

Así mismo, este cultivo requiere de 380 a 660 mm de agua de lluvia bien distribuidos a través del tiempo, tanto en lluvias abundantes como las sequías persistentes afectan el cultivo de la cebada; sin embargo, en ambientes semiáridos el rendimiento es mayor que otros cereales (Santibáñez, 1994). Por ello es considerada como tolerante a la sequía (Robles, 1990).

El cruzamiento de genotipos produce nuevas combinaciones de genes con características superiores para cultivarlos en condiciones específicas, cuyo potencial genético está contenido y es transmitido mediante la semilla, estructura esencial de la agricultura (Copeland y McDonald, 2001), junto con el agua, sin la cual es imposible la germinación.

En los últimos años, el Programa de Cereales del Departamento de Fitomejoramiento, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha generado materiales de cebada para aquellas zonas con fenómenos climatológicos extremos, tanto en sequías prolongadas como en heladas constantes o hasta en localidades ubicadas en regiones poco propicias, teniendo además aceptables rendimientos en la producción de semillas.

Sin embargo, no se ha generado la suficiente información en cuanto las características fisiológicas y la aplicación de tecnología para rápidas respuestas en la emergencia de estos materiales genéticos para prevenir desfavorables respuestas de producción en estas zonas de climas extremos.

Dado que la germinación refleja una serie de procesos morfológicos y fisiológicos de la semilla, desde la transformación del embrión hasta desarrollar una plántula normal (Coll *et al.*, 1995), ocurre un proceso que comprende tres fases; fase I, imbibición de la semilla (Méndez, 2008; Salisbury y Ross, 1994),

fase II, inicio de la actividad metabólica y fisiológica; y fase III división celular provocando la emergencia de la radícula (Doria, 2010).

La primera fase, la imbibición se caracteriza por la rápida hidratación de la semilla, tasa calculada mediante el porcentaje de incremento de peso en cada lectura con respecto al peso inicial, siendo fuertemente asociada con la germinación, pero en algunos cultivos, la tasa de imbibición no se relacionó con el porcentaje de germinación (Méndez-Natera *et al.*, 2008) y en otros se ha encontrado respuesta en invernadero y laboratorio, pero no en condiciones de campo (Giri y Schillinger, 2003). Algunos autores, han relacionado esta fase con un procedimiento de pre hidratación o preacondicionamiento a la semilla se usa sobre todo en regiones donde se siembra bajo condiciones de temporal como una forma de asegurar el establecimiento del cultivo, existiendo reportes de acondicionamiento de 12 horas de imbibición en trigo y 24 horas en maíz (Giri y Schillinger, 2003; Sánchez-Pérez *et al.*, 2010) sin justificación alguna.

Durante la imbibición se presenta una lixiviación de sustancias desde la semilla, estas sustancias son principalmente potasio, fosfatos, azúcares y aminoácidos (Schmidt y Tracy, 1989), la cantidad de estos electrolitos es medida por la conductividad eléctrica (CE). La CE ha sido evaluada como un método para medir la viabilidad y vigor de plántulas en trigo y otros cultivos.

Al respecto, existen estudios donde se correlaciona el incremento de la CE con un decremento de la germinación y vigor de la semilla en varias especies, así también semillas con baja viabilidad muestran alta conductividad eléctrica, debido probablemente a la falta de habilidad para reorganizar completa y rápidamente las membranas celulares durante el inicio de la imbibición (Tajbakhsh, 2000).

Por lo anterior, en el presente trabajo, se pretende generar información útil de las líneas experimentales Narro-95, Narro-190 y Narro-221, generadas por el Programa de Cereales de Granos Pequeño de la Universidad, y de las variedades Esperanza y Cerro Prieto en aspectos fisiológicos como estudiar la

máxima tasa de imbibición y conductividad eléctrica que pudiesen ser usados como indicadores del tiempo de imbibición para el hidroacondicionamiento y serán específicos a cada genotipo, razón por la cual se determinarán y correlacionarán, bajo los objetivos general y específicos, así como el planteamiento de hipótesis siguiente:

### **Objetivo general**

- Estudiar la máxima tasa de imbibición y conductividad eléctrica en cinco materiales genéticos de cebada forrajera y grano para propósitos de hidroacondicionamiento.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar la máxima tasa de imbibición y conductividad eléctrica en cada material de cebada forrajera y grano estudiado, a través de pruebas de laboratorio.
- Determinar y correlacionar el tiempo de imbibición con la tasa de imbibición para el hidroacondicionamiento en cada genotipo estudiado.

### **Hipótesis**

- La tasa de imbibición y la conductividad eléctrica pudiesen ser usados como indicadores de tiempo de imbibición para el hidroacondicionamiento y serán específicos a los genotipos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del Cultivo

La cebada se conoce desde tiempos muy remotos. Se creó que fue una de las primeras plantas domésticas al comienzo de la agricultura.

Poehlman (1981), cita que Vavilov describe dos centros de origen. Uno de ellos; Etiopia y África del Norte, de donde proceden muchas variedades cubiertas, con barbas largas, mientras que el otro centro; China, Japón, y el Tíbet, proceden las variedades desnudas, de barbas cortas o imberbes y los tipos de grano cubierto por caperuzas.

Se supone que donde se cultivó primeramente fue en sudoeste de Asia (más o menos 5000 años A. C.), región en la cual aún puede hallarse las cebadas silvestres *Hordeum spontaneum* y *Hordeum ithuburensense*. Hay sin embargo quienes citan que la cebada ha sido cultivada desde hace más de 15,000 años. Originaria de Eurasia, ha probado ser el cereal más ampliamente adaptado a regiones templadas alrededor del mundo.

### Importancia Económica

La producción de cebada en México ha aumentado en los últimos años, de tal forma que actualmente ocupa el quinto lugar en la producción nacional de granos, después del maíz, sorgo, trigo y frijol, desplazando de éste lugar al arroz y el garbanzo. Así mismo puede destacarse que la cebada, junto con el garbanzo, muestran las tasas medias de crecimiento anual más altas durante el periodo comprendido entre 1995 y 2001.

Lo anterior ha tenido como consecuencia que las importaciones de cebada y malta a México hayan disminuido considerablemente en los últimos años, y actualmente se consideren sólo para ajustar las necesidades del mercado, considerando que se está por lograr un nivel de autosuficiencia en la producción de este grano, ya que las importaciones disminuyeron de 300.9 mil toneladas en 1996 a 68.3 mil toneladas en 2001, lo que representó que éstas pasaran de un nivel equivalente al 51.4% de la producción nacional en 1996 a sólo el 9.0% en 2001.

En relación con los usos de la cebada en México, durante el periodo comprendido entre 1995 –2000, se reporta un 60% para la elaboración de alimentos, fundamentalmente malta que se destina a la industria cervecera; 34% como alimento para ganado, 3% se estima en desperdicios, 2% para semillas y 1% para otros usos en alimentación humana.

La balanza comercial en este grano sigue siendo deficitaria debido a la creciente demanda de malta por la industria cervecera, como consecuencia del crecimiento en sus exportaciones; así como a la fuerte competencia internacional en cebada maltera; es difícil considerar que en un futuro inmediato el país pueda tener una balanza comercial con un superávit significativo. Sin embargo, se ha venido observando en los últimos años una disminución en el volumen de importaciones, a nivel que se espera que la balanza sea equilibrada.

### **Clasificación Taxonómica**

El nombre científico de la cebada es *Hordeum Vulgare*, perteneciente a la familia Poaceae (Gramíneas).

Su especie está determinada por el número de espiguillas. Existen dos especies en la Cebada.

*Hordeum distichum*, que se emplea para la obtención de cerveza, y *Hordeum hexastichum*, que se utiliza básicamente como forraje para la alimentación animal (Pérez, 2010).

### Morfología

- **Hojas:** La cebada es una planta de hojas estrechas color verde claro. La planta de cebada suele tener un color verde más claro que el del trigo y en los primeros estadios de su desarrollo la planta de trigo suele ser más erguida.
- **Raíces:** El sistema radicular es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación con el de otros cereales. Se estima que un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo y que las raíces apenas alcanzan 1.20 m de profundidad.
- **Tallo:** El tallo es erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos. La altura de los tallos depende de las variedades y oscila desde 0.50 m. a un metro.
- **Flores:** Las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. Son autógamas. Las flores abren después de haberse realizado la fecundación, lo que tiene importancia para la conservación de los caracteres de una variedad determinada.
- **Fruto:** El fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada desnuda.
- **Grano:** El tamaño del grano depende de la influencia del ambiente y sus dimensiones varían como sigue: puede alcanzar una longitud máxima de 9.5 mm y una mínima de 6.0 mm; de ancho mide entre 1.5 y 4.0 mm.

## **Producción del Cultivo**

México es el sexto productor de cerveza más grande del mundo, con casi seis millones de litros al año, con un valor de 3,800 millones de dólares, en una superficie cultivada de 315,700 hectáreas, superado por China, EE.UU., Alemania, Brasil y Reino Unido. El 20% de la producción nacional de cerveza se exporta y el 80% restante se consume en el mercado interno.

En el periodo 2002-2007, el rendimiento de la cebada en México fue de 2.5 ton/ha con una TMAC del 0.45%. Sin embargo, al cierre de 2007, el rendimiento a nivel nacional se ubica en el 2.7 ton/ha, cifra que resulta ligeramente superior, con respecto al año 2002 (SIAP, Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. 2009).

En el 2008 la producción fue de poco más de 796 mil toneladas, lo que representó un aumento del 22.0% respecto al año anterior y una disminución de 8.3 % con respecto a 2006. En el periodo comprendido entre 2002 y 2008, la producción de cebada ha mostrado una tendencia inestable y la tasa media anual de crecimiento (TMAC) fue de 1.3%.

En nuestro país, la producción de cebada para grano ocupa el séptimo lugar en importancia y su cultivo es practicado en alguno de los dos ciclos del año en 23 Estados de la República (SAGARPA, 2006), en donde se cosechan en promedio 313,000 hectáreas con un rendimiento medio de 2,397 kg/ha en riego y temporal y un volumen de producción de 750,261 toneladas de grano al año (Cabañas, 2004).

De acuerdo con Flores (2005), la dependencia de la industria cervecera mexicana de las importaciones de cebada introduce un importante factor de riesgo, tanto en el abasto como en el precio.

## **Producción Mundial**

Según la (FAO 2010) la producción mundial de cebada alcanzó 123,5 millones de toneladas. Los 20 mayores productores abarcan el 82% de total mundial. Los tres primeros lugares correspondieron a Rusia (12%), Alemania (9%) y Canadá (8%) y entre las posiciones 4 a 11 se encontraron Francia, España, Ucrania, Turquía, Australia, Reino Unido, Estados Unidos y Dinamarca.

La tendencia en el volumen de producción de cebada en Rusia fue notablemente alcista, con una TMAC de 8.3% que se reflejó en un cambio de 9.8 millones a 23.1 millones de toneladas producidas en 1998 y 2008 respectivamente; sin embargo, entre la mayoría de los principales productores se observaron TMAC decrecientes siendo la más notorias las de Turquía y Estados Unidos, que a TMAC de -3.7% y -3.4% disminuyeron su volumen de producción en más de 30% entre 1998 y 2008 según la (FAO, 1994).

La superficie cosechada de cebada decreció a una TMAC de -0.05%, pasando de 56.8 millones de hectáreas en 1998 a 56.7 millones de hectáreas en 2008. Entre 13 países agruparon el 71% de la superficie cosechada de cebada, encontrándose entre estos nueve de los once países que concentraron el 70% de la producción. Rusia permaneció en primer lugar con 16% de la superficie mundial y el 2° al 4° lugar lo ocuparon Ucrania, Australia y Canadá, con 7% cada uno.

Los rendimientos de cebada en Francia, Alemania, Reino Unido y Dinamarca, que fueron cuatro de los principales productores, se ubicaron entre los más altos con más de 5 ton/ha, siendo Francia el 2° lugar a nivel mundial al obtener 6.3 ton/ha, superada solo por Irlanda que se ubicó en el 1° con 6.5 ton/ha pero no tuvo un volumen de producción representativo. De los demás productores importantes, Estados Unidos, Canadá y España, superaron en rendimientos al promedio mundial de 2.5 ton/ha, y por otro lado, Turquía, Ucrania, Rusia y Australia, tuvieron alrededor de 2 ton/ha.

## **Producción Nacional**

México no tuvo una participación notable en la producción mundial de cebada, pues representó sólo el 0.5% tanto del volumen producido como de la superficie cosechada, colocándose así en el 33° y 32° lugares a nivel internacional; sin embargo, sus 2.5 ton/ha de rendimiento promedio fueron similares al promedio mundial y superiores al de algunos de los principales productores, colocándose en este caso en la posición 41, además tuvo un incremento en rendimientos a una TMAC de 4.7%, en comparación con tasas mayoritariamente negativas de los principales productores.

En el año 2003, la producción nacional de cebada en grano fue de 1,081,574 toneladas, de las cuales, en Guanajuato se produjeron 452,700 toneladas, equivalentes al 41.8 % del total de nacional (SIACON, 2004). Los estados que tuvieron la mayor superficie sembrada con este grano fueron: 1) Guanajuato (100,384 ha); 2) Hidalgo (120,154 ha); 3) Tlaxcala (58,760 ha); 4) Estado de México (27,900 ha); 5) Puebla (24,940 ha), y 6) Zacatecas (3,344 ha).

## **Requerimientos Climáticos y Edáficos**

### **Fotoperiodo**

Esta especie acepta amplios rangos de fotoperiodo, se puede cultivar en periodos de días cortos y días largos (Guitard, citado por Poehlman, 1981).

### **Clima**

Las exigencias en cuanto al clima son muy pocas, por lo que su cultivo se encuentra muy extendido, aunque crece mejor en los climas frescos y moderadamente secos. La cebada requiere menos unidades de calor para alcanzar la madurez fisiológica, por ello alcanza altas latitudes y altitudes. En Europa llega a los 70° de latitud Norte, no sobrepasando en Rusia los 66°, y en América los 64°. En cuanto a la altitud, alcanza desde los 1.800 m. en Suiza a

3.000 m. en Perú, ya que es entre los cereales, el que se adapta mejor a las latitudes más elevadas (teniendo la precaución de tomar las variedades precoces) 0-3500 m (Aragón *et al.*, 1995).

### **Precipitación (Agua)**

Durante el ciclo de cultivo requiere de 380 a 660 mm bien distribuidos. Tanto las lluvias abundantes como las sequías persistentes afectan la cebada (Zamora, 1998; comunicación personal).

La cebada es más tolerante a la sequía que el trigo. En ambientes semiáridos el rendimiento de la cebada es mayor que el de otros cereales. (Santibáñez, 1994).

El óptimo de precipitación anual es de alrededor de los 700 mm, pero se puede cultivar en regiones de hasta 1000 mm anuales, siempre que durante la Época de cosecha no existan lluvias significativas (FAO, 1994).

### **Humedad Ambiental**

Requiere una atmosfera relativamente seca, ya que ambientes húmedos propician la presencia de enfermedades fungosas.

### **Temperatura**

Los efectos eco fisiológicos de esta especie son similares a los del trigo (Santibáñez, 1994).

Un periodo de vernalización a temperaturas de 2°C, acelera la emergencia de las plántulas (Roberts *et al.*, 1988).

La temperatura óptima depende de la etapa de desarrollo y de la variedad. Para la siembra la mínima es de 3-4°C, la óptima es de 20 a 28°C y la máxima de 28-40°C. La temperatura media adecuada es de 15-25°C durante el

periodo de junio a octubre. Durante la maduración del grano, las heladas o temperaturas inferiores a 0°C dañan tanto el aspecto físico como su calidad industrial.

La temperatura optima durante la etapa de llenado de grano es de alrededor de 22°C (Piva y Cervato, citados por Santibáñez, 1994).

La mínima y máxima umbrales para crecimiento son 5°C y 30°C, respectivamente, con un óptimo de 18°C (FAO, 1994).

### **Luz**

Esta especie es menos sensible al sombreado que el trigo (Santibáñez, 1994).

### **Viento**

Prefiere regiones con vientos débiles.

### **Textura de Suelo**

Se adapta a diversos tipos de suelo, generalmente se cultiva en suelos ligeros bien drenados y los migajones con buena fertilidad y buen drenaje profundo. La textura óptima es de tipo franco (medio) y migajón-arenoso. Le favorecen suelos de textura media (FAO, 1994).

### **Profundidad del Suelo**

Para un buen desarrollo radicular, le son suficientes 30 cm. de suelo (Aragón, 1995).

## **Salinidad**

Se han realizado varios estudios en los cuales se comprueba que los efectos de la salinidad varían dependiendo del estadio de crecimiento y de la duración del estrés. En algunas especies, la tolerancia a la salinidad en la germinación es independiente de la tolerancia a la salinidad en la emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fructificación; como es en el caso de cebada quien se considera altamente tolerante a la salinidad, solo por su germinación bajo estas condiciones (FAO, 1994).

## **PH**

Es muy tolerante a suelos alcalinos, pero poco a suelos ácidos. Desarrolla en un rango de 6.0 a 8.5 (Bower y Fireman, citados por Poehlman, 1985). Rango optimo: 6.5 a 8.0 (Ignatieff, citado por Moreno, 1992).

Prospera en un rango de pH de 6.0 a 7.5, siendo el óptimo 6.5 (FAO, 1994).

## **Drenaje**

Requiere suelos bien drenados (FAO, 1994).

## **Mejoramiento Genético en Cebada**

Chávez 1993, define al mejoramiento genético como el arte y ciencia de dirigir la evolución de las especies. Arte porque el Fitomejorador selecciona los mejores genotipos en base a su experiencia y ciencia porque aplica el método científico al combinar y evaluar los materiales.

Este mismo autor menciona que el objetivo principal del Fitomejoramiento genético es incrementar la producción y la calidad de los

productos agrícolas por unidad de superficie, en el menor tiempo, con el mínimo esfuerzo y al menor costo posible.

Por su parte Quiroz y Quiroz en 2012, mencionan que el Fitomejoramiento, también conocido como mejoramiento de las plantas, es la ciencia del desarrollo de plantas para producir nuevas variedades con características deseables, mientras que Rosas (2003), señalan que las variedades vegetales se pueden diseñar acorde a las necesidades que el mercado demande.

Para un buen desarrollo radical, son suficientes 30 cm de profundidad de suelo. Es un cultivo altamente tolerante a la salinidad y muy tolerante a suelos alcalinos, pero no a suelos ácidos. Se desarrolla en un rango de pH de 6.5 a 8.0 (Moreno, 1992).

Durante el ciclo de cultivo requiere de 380 a 660 mm de agua de lluvia bien distribuidos a través del tiempo. Tanto las lluvias abundantes como las sequías persistentes afectan el cultivo de la cebada. En ambientes semiáridos el rendimiento de este cultivo es mayor que el de otros cereales (Santibáñez, 1994).

### **Proceso de Germinación**

La germinación de las semillas es una serie de procesos morfológicos y fisiológicos, en los cuales resulta la transformación del embrión en una plántula normal (Coll, 1995), y este proceso comprende tres fases sucesivas las cuales son: Fase I (imbibición) es la hidratación de la semilla causando un hinchamiento, la Fase II es el inicio de la actividad metabólica y fisiológica, la Fase III comprende la división celular que provoca la emergencia de la radícula (Doria, 2010). Y por su parte Méndez et al. (2008), Salisbury y Ross (1994) mencionan que el primer paso de la germinación es la imbibición.

### **Primera fase: Imbibición de Semillas (Hidratación)**

El primer paso para que se inicie la germinación es que la semilla entre en contacto con el agua. Ésta es fundamental para que la semilla se rehidrate y exista un medio acuoso donde los procesos enzimáticos puedan llevarse a cabo.

La semilla requiere de una pequeña cantidad de agua para rehidratarse, generalmente no más de 2 a 3 veces su peso seco; sin embargo, la nueva plántula tiene requerimientos mayores para que sus raíces y hojas puedan seguir desarrollándose. Son dos los factores que deben tomarse en cuenta al analizar el proceso de absorción (llamado imbibición) de agua por parte de la semilla: 1) las relaciones de la semilla con el agua, y 2) la relación entre la semilla y el sustrato.

La cantidad de agua que absorbe y la velocidad con que lo hace están determinadas por procesos físicos de difusión y por las propiedades de los coloides. El agua tiene que atravesar una membrana permeable, la cual presenta una alta concentración de sustancias en uno de los lados. Las moléculas del solvente penetran a la sustancia que se está hinchando o imbibiendo, ocupando los espacios capilares e intermusculares del coloide. Esto produce una presión de imbibición, de fuerza considerable, la cual llega a alcanzar valores de cientos de atmósferas. Esta presión puede llevar al rompimiento de la testa durante la germinación. En las semillas, el principal componente que se imbibido de agua son las proteínas; también participan otros compuestos como los mucílagos y la celulosa.

La hidratación de una semilla se produce en tres fases. En la Fase I se lleva a cabo la absorción inicial del agua (imbibición) y 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 Fase II corresponde a un periodo de rezago. Las semillas muertas y las latentes mantienen este nivel de hidratación.

Para las semillas que no están latentes es un periodo de metabolismo activo que prepara la germinación; para las semillas latentes también es un periodo de metabolismo activo y para las muertas es un periodo de inercia. La Fase III está asociada con la germinación y sólo la presentan las células viables, no latentes. Durante esta fase obviamente hay actividad metabólica, incluyendo el inicio de la movilización de las reservas almacenadas.

Azcón y Talón, 2008, definen la imbibición como la toma de agua por una semilla seca debido a un proceso eminentemente físico. Por su parte Paiva (2006) indica que el movimiento de agua dentro de la semilla se debe a la acción de difusión y capilaridad, el flujo hídrico es de un potencial mayor a uno menor.

Moreno en 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, esta depende de la morfología y de la calidad de la semilla.

### **Segunda fase: Activación Enzimática (Germinación)**

Representa el verdadero proceso de la germinación. En ella se producen las transformaciones metabólicas, necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

### **Tercera fase: Elongación de Tejido (Crecimiento)**

Esta última fase de la germinación se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible), se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la activación respiratoria (Azcón, 1993).

La duración de cada una de estas fases depende de ciertas propiedades de las semillas, como su contenido en compuestos hidratables y la permeabilidad de las cubiertas al agua y al oxígeno. Estas fases también están afectadas por las condiciones del medio, como el nivel de humedad, las características y composición del sustrato, la temperatura, etc. Otro aspecto interesante es la relación de estas fases con el metabolismo de la semilla. La primera fase se produce ya sea en semillas vivas y muertas y, por tanto, es independiente de la actividad metabólica de la semilla. Sin embargo, en las semillas viables, su metabolismo se activa por la hidratación. La segunda fase constituye un periodo de metabolismo activo previo a la germinación en las semillas viables o de inicio en las semillas muertas. La tercera fase se produce sólo en las semillas que germinan y obviamente se asocia a una fuerte actividad metabólica que comprende el inicio del crecimiento de la plántula y la movilización de las reservas. Por tanto, los factores externos que activan el metabolismo, como la temperatura, tienen un efecto estimulante en esta última fase del proceso de germinación.

En las dos primeras fases de la germinación los procesos son reversibles, a partir de la fase de crecimiento se entra en 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.

### **Acondicionamiento (Tratamiento Pre germinativos)**

Los tratamientos de hidratación parcial de las semillas en soluciones osmóticas o con aditivos bio activos pueden ser utilizados con diferentes propósitos, dentro de ellos revigorizar semillas envejecidas, acondicionar

semillas para acelerar y uniformar la germinación o robustecer semillas para incrementar la resistencia de las plantas a las tensiones ambientales.

Una vía fisiológica para incrementar la germinación de las semillas frescas y envejecidas son los tratamientos pre-germinativos de hidratación-deshidratación (Sánchez *et al.*, 1999). Estos procedimientos activan reacciones metabólicas pre-germinativas que aceleran la germinación, la autoreparación enzimática de las membranas celulares y numerosos mecanismos bioquímicos-fisiológicos de tolerancia al estrés ambiental (Mc Donald, 1999 citado por Montejo, 2002). Dichos tratamientos consisten en la inmersión de las semillas en soluciones osmóticas o en cantidades limitadas de agua durante determinado tiempo, con deshidratación previa a la siembra o sin ella.

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. Dentro de los acondicionadores empleados en sus trabajos está el ácido ascórbico en semillas de arroz, logrando muy buenos resultados en cuanto al incremento de la germinación en semillas envejecidas. (Basra, 2006)

El acondicionamiento 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.

El pre-acondicionamiento es un tratamiento pre-germinativo que se aplica principalmente a semillas agrícolas colocándolas por un tiempo determinado en soluciones osmóticas o en matrices sólidas, de manera que puedan absorber agua y solutos e iniciar los procesos metabólicos correspondientes a la fase temprana de la germinación, (Heydecker *et al.*, 1973).

Estos tratamientos pre-germinativos promueven la sincronización e incrementan la velocidad de germinación de la población de semillas. En algunas especies el pre-acondicionamiento 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., 2001; Butola y Badola, 2004).

El pre-acondicionamiento natural rompe la latencia, incrementa la velocidad de germinación y aumenta el porcentaje de sobrevivencia y de establecimiento de las plántulas (González, 2000; González, 2001; Orozco–Segovia, 2007), debido a que promueve los eventos metabólicos relacionados con la fase temprana de la germinación (Gamboa, 2006).

### **Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con TDS.

La CE ha sido evaluada como un método para medir la viabilidad y vigor de plántulas en trigo y otros cultivos. Al respecto, existen estudios donde se correlaciona el incremento de la CE con un decremento de la germinación y vigor de la semilla en varias especies, así también semillas con baja viabilidad muestran alta conductividad eléctrica, debido probablemente a la falta de

habilidad para reorganizar completa y rápidamente las membranas celulares durante el inicio de la imbibición (Tajbakhsh, 2000).

Soto *et al.*, 2011, mencionan que la CE es una excelente herramienta para evaluar el vigor de semillas de diversas especies forestales y agrícolas. Recientemente la prueba ha sido aplicada en semillas forestales. Ellos adaptaron una metodología para realizar la prueba de conductividad eléctrica y estudiar el volumen de agua y el periodo de imbibición en la evaluación de la calidad fisiológica de lotes semillas forestales de *Zeyheria tuberculosa*. Para ello utilizaron cinco repeticiones de 20 semillas cada una, instaladas en tres volúmenes de agua desionizada (75, 100 y 125 ml), con ocho periodos de imbibición (2, 4, 6, 12, 18, 24, 48 y 72 horas) a 25 °C. El arreglo fue completamente al azar. La prueba de la conductividad eléctrica y de germinación juzgaron igual a los lotes de semillas.

La prueba de CE ha sido propuesta como un ensayo para evaluar el vigor de las semillas considerando que las semillas con bajo vigor generalmente presentan menor velocidad de restaurar la integridad de las membranas celulares. Esta prueba presenta la ventaja de rapidez, objetividad, bajo costo y poseer base teórica consistente, siendo capaz de identificar el deterioro de las semillas en su estado inicial (Hampton y Tekrony 1995).

Por otro lado, Mirdad en 2006, dedujeron que, entre las pruebas de vigor, la prueba de conductividad eléctrica presenta una gran sencillez operativa y permite obtener resultados de forma muy rápida; así, ha demostrado su eficacia sobre semillas de leguminosas y crucíferas. En esta prueba se cuantifica la cantidad de solutos lixiviados por las semillas en un medio acuoso, mediante la medida de la CE del extracto. Una mayor salida de solutos de las semillas se asocia a una mayor permeabilidad de las membranas celulares en las primeras fases del envejecimiento y a muerte de células en fases posteriores. Dado que los ensayos de conductividad pueden estar influenciados por las características de las semillas (tamaño, forma, color).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Ubicación del Experimento**

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Producción de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Ubicada entre las coordenadas geográficas 25° 23' Latitud Norte y 103° 01' Longitud Oeste y con una altitud de 1743 msnm.

#### **Materiales Genéticos**

Se utilizaron genotipos de cebada que constaron de dos variedades de grano: Esperanza y Cerro Prieto (ambas con aristas) y tres líneas forrajeras sin aristas que fueron: Narro-95, Narro-190 y Narro-221. Las líneas imberbes fueron desarrolladas por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro enfocadas a obtener mayor producción de biomasa.

#### **Descripción de Materiales**

##### **Esperanza**

De acuerdo con Ramírez, (2008), Esperanza es una variedad de cebada desarrollada en México por el INIFAP con tolerancia a la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. hordei), para condiciones de riego.

### **Cerro prieto**

Esta variedad es el resultado de la selección de líneas F4, sembradas en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO) en el ciclo de invierno 1968-1969 (número de muestras 9325 D).

### **Línea Narro-95**

Generada por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Es una línea imberbe, es decir, sin barbas; se caracteriza por mantenerse casi siempre verde y llega a ponerse amarilla en un tiempo más retardado, tiene una espiga laxa, la pubescencia en la raquilla del grano es más larga, tiene mayor altura de planta, más tallos por superficie, mejor cobertura del terreno y finalmente mayor biomasa en comparación con otras variedades como Cerro prieto.

### **Líneas Narro-190-Narro-221**

Fueron desarrolladas por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mediante cruzamientos entre un germoplasma barbado de altura regular con la línea Marco "s" / Frágil "s" originario de CIMMYT-ICARDA de carácter imberbe, Enfocadas a obtener mayor producción de biomasa.

## **Metodología**

En el estudio, se evaluaron los materiales genéticos en condiciones de laboratorio, determinando la tasa de imbibición a través de peso adquirido, volumen absorbido considerando el peso inicial de la semilla, así como la conductividad eléctrica considerada como una prueba de viabilidad teniendo por

cada determinación tres repeticiones por cada material, tal como se describe a continuación:

### **Tasa de Imbibición**

La determinación de la tasa de imbibición involucró el registro (en gramos) del peso inicial de 100 semillas de cada genotipo por repetición en una balanza analítica de 0.0001 g de precisión; una vez obtenido el peso, cada repetición se colocó en un vaso de precipitado de 150 ml a los que posteriormente se agregaron 100 ml de agua destilada, dejando imbibir a temperatura ambiente; transcurridas cuatro horas, se decantó el agua a una probeta graduada a través de un colador quitando la mayor cantidad de agua entre las semillas registrando el volumen sobrante del inicial; enseguida con ayuda de toallas de papel absorbente se quitó el resto posible de agua superficial de las semillas; se pesó nuevamente, registrando el peso adquirido en gramos para las cuatro horas.

Una vez evaluado lo anterior, nuevamente se colocó la semilla de cada repetición en los vasos de precipitado comenzando de nuevo el proceso, el cual se repitió cada cuatro horas en todas las repeticiones y genotipos, concluyendo el proceso hasta observar una germinación fisiológica en la semilla del 50% más uno, tomando la anotación del volumen absorbido y peso adquirido cada cuatro horas.

La tasa de imbibición se calculó como porcentaje de incremento de peso ( $W_f$ ) en cada lectura con respecto al peso inicial ( $W_i$ ). Como los genotipos mostraron distintos contenidos de humedad inicial ( $H_i$ ), se ajustó cada cálculo (AA) usando la fórmula empleada por Domínguez-Domínguez *et al.*, 2007), expresándola finalmente como porcentaje, de acuerdo a lo siguiente:

$$AA = \frac{W_f - W_i}{W_i \left(1 - \frac{H_i}{100}\right)}$$

## **Conductividad Eléctrica**

Para determinar la conductividad eléctrica, antes de realizar el procedimiento de evaluar el volumen absorbido y peso adquirido de la semilla antes descrito de cada repetición y genotipo, se registró la conductividad eléctrica mediante el uso de un conductímetro marca Hanna HI 8733, registrando las lecturas de CE en micro Siemens por centímetro (ms/cm), en cada tiempo de evaluación, de cada cuatro horas hasta obtener un 50 % de emergencia más uno.

## **Diseño Experimental**

De cada genotipo se tuvieron tres repeticiones en un arreglo completamente al azar. Para las tres variables determinadas se realizaron análisis de varianza de cada lectura de cada cuatro horas como un completamente al azar y para el total de las lecturas se analizó como parcelas divididas en arreglo completamente al azar, considerando los tiempos de imbibición como parcela grande y los genotipos como parcela chica, con el fin de determinar la existencia de diferencias en el comportamiento de los genotipos y posible interacción con los tiempos de imbibición, las medias se compararon mediante la prueba de diferencia mínima significativa (Steel y Torrie, 1996) bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_{ij}(a) + V_k + (SV)_{ik} + E_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  es la observación en la frecuencia  $k$ , altura  $j$ , en el bloque  $i$ .

$\mu$  = es la media verdadera general.

$S_i$  = efecto de los  $i$  tiempos de imbibición

$E_{ij}(a)$  = error de parcela grande

$V_k$  = efecto de los  $k$  genotipos

$(SV)_{ik}$  = interacción del tiempo de imbibición ( $i$ ) con los genotipos ( $k$ )

$E_{ijk}$  = error experimental

## **Análisis de Regresión**

Con los promedios de las repeticiones en cada lectura se realizó un análisis de regresión para establecer el efecto del tiempo de humedecimiento sobre las variables, determinar el tipo de efecto o respuesta y obtener su ecuación de predicción. De las ecuaciones de predicción para la tasa de imbibición y conductividad eléctrica se calculó su máximo mediante el método de la segunda derivada (Stewart, 2008).

Expresándolo en forma simple, la regresión lineal es una técnica que permite cuantificar la relación que puede ser observada cuando se grafica un diagrama de puntos dispersos correspondientes a dos variables, cuya tendencia general es rectilínea y la relación puede determinarse mediante la ecuación:

$$y = a + bx$$

En esta ecuación, “y” representa los valores de la coordenada a lo largo del eje vertical en el gráfico (ordenada); en tanto que “x” indica la magnitud de la coordenada sobre el eje horizontal (abscisa). El valor de “a” (que puede ser negativo, positivo o igual a cero) es llamado el intercepto; en tanto que el valor de “b” (el cual puede ser negativo o positivo) se denomina la pendiente o coeficiente de regresión.

## **Correlación**

El análisis de correlación se encuentra estrechamente vinculado con el análisis de regresión y ambos pueden ser considerados de hecho como dos aspectos de un mismo problema.

La correlación entre dos variables es - otra vez puesto en los términos más simples - el grado de asociación entre las mismas. Este es expresado por un único valor llamado coeficiente de correlación (r), el cual puede tener valores

que oscilan entre -1 y +1. Cuando “r” es negativo, ello significa que una variable (ya sea “x” o “y”) tiende a decrecer cuando la otra aumenta (se trata entonces de una “correlación negativa”, correspondiente a un valor negativo de “b” en el análisis de regresión). Cuando “r” es positivo, en cambio, esto significa que una variable se incrementa al hacerse mayor la otra (lo cual corresponde a un valor positivo de “b” en el análisis de regresión).

Los valores de “r” pueden calcularse fácilmente en base a una serie de pares de datos de “x” e “y”, utilizando la misma tabla y montos que se indican en el Paso 2 de la sección “regresión” de este capítulo. De este modo “r” puede ser obtenido - indirectamente - a partir de la relación siguiente como la raíz cuadrada de:

$$r^2 = \frac{\sum xy - \left[ \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \right]^2}{\left[ \sum x^2 - \frac{(Ex)^2}{n} \right] * \left[ \sum y^2 - \frac{(Ey)^2}{n} \right]}$$

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza combinados mostraron alta significancia ( $p < 0.01$ ) entre genotipos y los tiempos de imbibición para las tres variables evaluadas; solo se encontró significancia ( $p < 0.05$ ) en la interacción tiempos por genotipos para la variable Conductividad Eléctrica (CE), como lo muestra el Cuadro 4.1. Obteniendo un porcentaje de significancia de 99.999 en las variables Tasa de Imbibición (TI), CE y Volumen Absorbido (VA) respectivamente (mismo Cuadro 4.1).

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia del análisis combinado para las variables TI, CE y VA evaluadas en cinco genotipos de cebada en condiciones de laboratorio.**

Fuente de variación	Grados de Libertad	Tasa de imbibición	Conductividad Eléctrica	Volumen Absorbido
<b>Tiempo</b>	7	1314.89**	14970.26**	884.18**
<b>Genotipo</b>	4	384.32**	2528.66**	8.82**
<b>Tiempo x Rep.</b>	16	0.51 <b>NS</b>	7.82 <b>NS</b>	2.39 <b>NS</b>
<b>Tiempo x Genotipo</b>	28	1.03 <b>NS</b>	82.93 *	0.44 <b>NS</b>
<b>Error Exp.</b>	64	195.97	2133.70	114.09
<b>Total</b>	119			
<b>% CV</b>		2.61	4.24	4.68

\*\* Alta significancia (0.01 de probabilidad), \* Significancia (0.05), NS= no significancia, CV= coeficiente de variación

Para mostrar una mejor comprensión de los comportamientos encontrados, enseguida se presentan los resultados para cada variable en cada tiempo estudiado.

### Tasa de Imbibición

En el análisis de varianza para cada uno de los diferentes tiempos de imbibición resultó una alta significancia ( $p < 0.01$ ) entre los genotipos evaluados, indicando que la respuesta de la velocidad de la primera etapa del proceso de germinación en los genotipos estudiados fue diferente en al menos uno de ellos teniendo porcentajes del Coeficiente de variación de 1.79 hasta 3.55 % (Cuadro 4.2).

**Cuadro 4.2 Cuadrados medios y nivel de significancia en los genotipos estudiados por su tasa de imbibición en los diferentes tiempos.**

Fuente de variación	gL	4 H	8 H	12 H	16 H	20 H	24 H	28 H	32 H
<b>Genotipo</b>	4	39.04**	43.46**	42.81**	46.04**	52.0**	51.1**	56.93**	60.15**
<b>Error Exp.</b>	10	0.82	1.42	1.46	0.83	1.02	0.85	1.67	0.98
<b>Total</b>	14								
<b>C.V. %</b>		3.27	3.55	3.08	2.09	2.19	1.87	2.46	1.79

\*\* Alta significancia (0.01 de probabilidad), CV= coeficiente de variación

Una vez determinado que existían diferencias entre los genotipos para cada uno de los tiempos, se compararon sus medias (Cuadro 4.5), encontrando a las 4, 12, 16, 20, 24, 28 y 32 horas de imbibición dos grupos estadísticos, donde el primer grupo fue formado por las líneas forrajeras, mientras que el segundo contuvo las variedades Cerro prieto y Esperanza, excepto a las 8 horas en donde éstas se ubicaron en un tercer grupo de significancia, tal como se aprecia en el Cuadro 4.3 indicando una clara tendencia de predominio de los materiales forrajeros, quienes exhibieron una mayor tasa de imbibición que las variedades de grano.

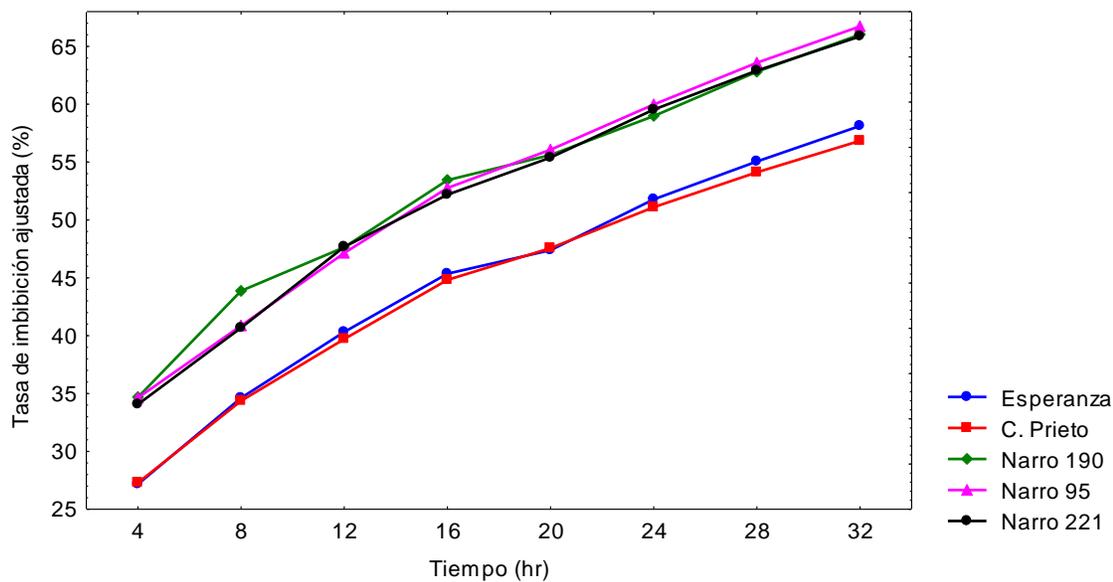
**Cuadro 4.3 Prueba de comparación de medias en Tasa de Imbibición entre los genotipos estudiados de cebada a través de los tiempos de imbibición.**

Genotipo	Horas							
	4	8	12	16	20	24	28	32
<b>Narro-95</b>	30.62 a	36.13 b	41.68 a	46.66 a	49.58 a	53.03 a	56.22 a	59.00 a
<b>Narro-190</b>	30.48 a	38.55 a	41.87 a	46.97 a	48.87 a	51.83 a	55.20 a	58.03 a
<b>Narro-221</b>	30.14 a	36.00 b	42.19 a	46.18 a	49.02 a	52.68 a	55.67 a	58.28 a
<b>Cerro p</b>	23.85 b	30.04 c	34.71 b	39.18 b	41.58 b	44.67 b	47.31 b	49.69 b
<b>Esperanza</b>	23.82 b	30.36 c	35.36 b	39.77 b	41.56 b	45.41 b	48.28 b	50.97 b

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS 0.05 de probabilidad)

Como se aprecia en la Figura 4.1 estas diferencias de respuesta fueron evidentes desde el inicio del experimento, este comportamiento pudiera conferirles una ventaja en el establecimiento y desarrollo inicial a los genotipos forrajeros, características deseables en este tipo de materiales y que tal vez influyen en su selección durante el proceso de mejoramiento.

En dicha figura se logra percibir la velocidad de hidratación de las semillas y en consecuencia el tiempo previo a la germinación fisiológica debido a que las características morfológicas de la semilla de cada variedad podrían explicar el modo particular de hidratación, donde tal vez el grosor del pericarpio y las células que lo constituyen sean parte de la respuesta de la velocidad y volumen de agua de absorción como lo menciona Nobel (1999), quien estableció que el grosor de testa y el número de capas de células que la componen juegan un papel importante en el proceso de imbibición, la cual no es uniforme en toda la superficie de la semilla; siendo más elevada en las inmediaciones del micrópilo y el embrión; además que como las semillas no son cuerpos geométricos uniformes, la velocidad de transferencia de agua hacia el interior de las mismas es diferente (Sánchez, 2008).



**Figura 4. 1 Tasa de imbibición ajustada por el contenido de humedad de la semilla de los genotipos de cebada.**

### **Conductividad Eléctrica**

En los análisis de varianza para cada uno de los diferentes tiempos de imbibición resultó una alta significancia ( $p < 0.01$ ) entre los genotipos evaluados, indicando que la respuesta de la conductividad eléctrica durante la primera etapa del proceso de germinación en los genotipos estudiados fue diferente en al menos uno de ellos, teniendo porcentajes del Coeficiente de variación de 2.84 hasta 16.26 % (Cuadro 4.4).

La comparación de medias de la conductividad eléctrica (Cuadro 4.5), mostró que en cada tiempo se conformaron más de dos grupos estadísticos; conforme pasan las horas, la conductividad eléctrica tiende a aumentar, resaltando el comportamiento de la variedad Esperanza que solamente en las primeras 4 horas de imbibición mostró el comportamiento más bajo en similitud con la variedad Cerro prieto, pero a partir de la 8 horas su CE se incrementó y permaneció como mayor promedio durante el resto del experimento. En ese sentido, la interacción tiempos por genotipo se explica principalmente por este

comportamiento mostrado por la variedad Esperanza; sin embargo, la tasa de imbibición de ambas variedades de grano mostró un comportamiento similar.

**Cuadro 4.4 Cuadrados medios y nivel de significancia en los genotipos estudiados de cebada en los diferentes tiempos en la respuesta de la Conductividad Eléctrica.**

Fuente de variación	gL	4 H	8 H	12 H	16 H	20 H	24 H	28 H	32 H
<b>Genotipo</b>	4	170.80**	316.33**	381.94**	393.69**	397.36**	432.55**	495.85**	520.63**
<b>Error</b>	10	43.13	13.39	20.29	15.88	16.29	21.55	14.76	15.34
<b>Total</b>	14								
<b>C.V. %</b>		16.26	3.57	3.90	3.28	3.19	3.56	2.86	2.84

\*\*Alta significancia (0.01 de probabilidad), CV= coeficiente de variación

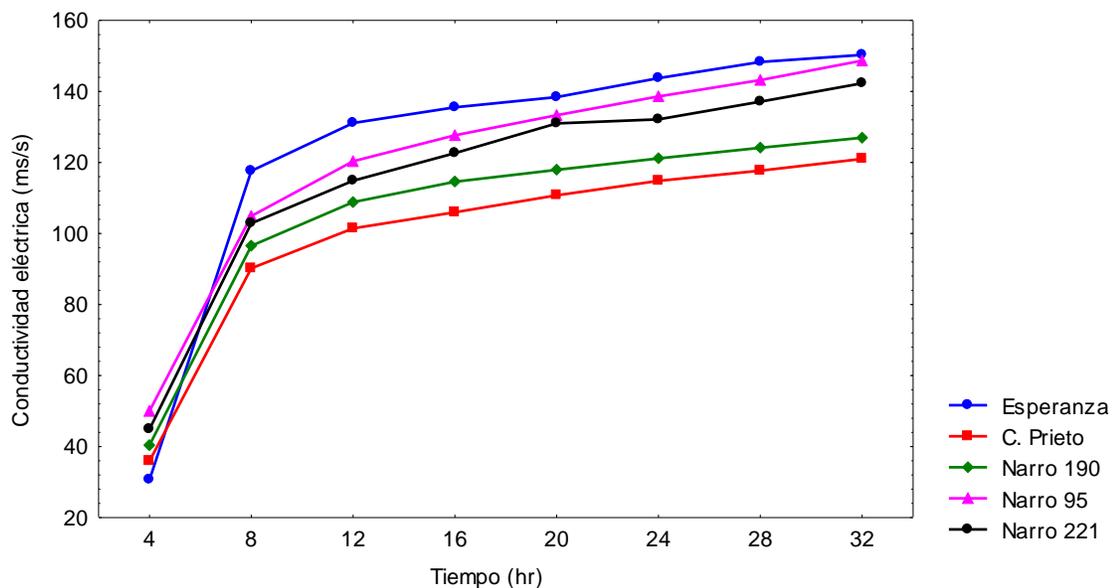
**Cuadro 4.5 Prueba de comparación de medias en Conductividad Eléctrica entre los genotipos estudiados de cebada a través de los tiempos de imbibición.**

Genotipo	4	8	12	Horas 16	20	24	28	32
<b>Narro-95</b>	50.03a	104.90a	120.53a	127.63b	133.30ab	138.60ab	143.16ab	148.66ab
<b>Narro-190</b>	40.40abc	96.53cd	108.83cd	114.56c	117.93c	121.13 c	124.13c	126.96b
<b>Narro-221</b>	44.90ab	102.86bc	114.86bc	122.63b	131.00b	132.13 b	137.10b	142.30b
<b>Cerro Prieto</b>	35.93bc	90.20d	102.43d	105.96d	110.73c	114.80 c	117.70c	121.00c
<b>Esperanza</b>	30.66c	117.63a	131.10a	135.53a	138.40a	143.73 a	148.30a	150.30a

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS 0.05 de probabilidad)

La Figura 4.2 muestra el comportamiento de la CE de los genotipos y confirma los resultados de la prueba de medias, misma que mostró a cada

genotipo en un grupo estadístico en orden decreciente: Esperanza, Narro-95, Narro-221, Narro-190 y Cerro prieto. La presencia de cubiertas en la semilla retrasa la tasa de imbibición y disminuye la conductividad eléctrica, como lo han evidenciado Ashraf y Nisar (1998), quienes han reportado que la remoción de la testa de la semilla de chícharo favorece la lixiviación de iones de potasio y otros electrolitos, lo cual resultó en mayores valores de conductividad, por lo que si se retiran las cubiertas de la semilla de cebada se esperaría una respuesta similar.



**Figura 4. 2 Conductividad eléctrica de los genotipos de cebada evaluados.**

En estos genotipos, la proporción de la conductividad eléctrica sobre la tasa de imbibición osciló entre 23.66 (Esperanza) hasta 30.21 (Cerro prieto), es decir que la máxima CE ocurrió desde un 23.66% del tiempo necesario para alcanzar la máxima tasa de imbibición, hasta un 30.21% menos del mencionado tiempo. Las líneas forrajeras se ubicaron en el intervalo marcado por las dos variedades de grano.

### Volumen Absorbido

En el análisis de varianza combinada para esta variable de Volumen Absorbido se presentó significancia, así mismo en el ANVA en los diferentes tiempos de evaluación del volumen, no se encontraron diferencias entre los genotipos a excepción de las 12 horas de imbibición donde se observó una alta diferencia significativa con un porcentaje del coeficiente de variación de 6.32, como se muestra en el Cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6 Cuadrados medios y nivel de significancia en los genotipos estudiados de cebada en los diferentes tiempos en la respuesta de Volumen Absorbido.**

Fuente de variación	GL	4H	8H	12H	16H	20H	24H	28H	32H
<b>Genotipo</b>	4	0.33 <i>NS</i>	0.26 <i>NS</i>	2.10 <b>**</b>	1.16 <i>NS</i>	1.50 <i>NS</i>	1.06 <i>NS</i>	1.60 <i>NS</i>	3.90 <i>NS</i>
<b>Error</b>	10	0.46	0.26	0.33	0.73	0.73	0.93	1.33	1.73
<b>Total</b>	14								
<b>C.V. %</b>		22.77	8.41	6.32	7.13	5.46	5.19	5.37	5.25

NS=No Significativo, \*\* Alta significancia (0.01 de probabilidad), CV= Coeficiente de Variación

**Cuadro 4.7 Prueba de comparación de medias en Volumen Absorbido entre los genotipos estudiados de cebada a través de los tiempos de imbibición.**

Genotipo	Horas							
	4	8	12	16	20	24	28	32
Narro-95	3.33a	6.33a	10.00a	12.00 ab	15.66ab	19.00a	21.33a	25.00ab
Narro- 190	2.66a	6.00a	8.33b	11.33b	15.00b	18.00a	21.33a	24.00 b
Narro -221	3.00a	6.33a	9.00ab	12.00ab	16.00ab	18.66 a	21.33a	24.66ab
Cerro Prieto	2.66a	5.66a	8.33b	11.66ab	15.00b	18.00a	20.66a	24.66ab
Esperanza	3.33a	6.33 a	10.00 a	13.00a	16.66a	19.33a	22.66a	27.00 a

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS 0.05 de probabilidad)

Con respecto a la prueba de comparación realizada en esta variable en los diferentes tiempos (Cuadro 4.7), se logró observar que en todos los tiempos el material genético Esperanza fue quien absorbió mayor volumen de agua siendo siempre considerado dentro del primer grupo estadístico seguido de Narro-95 y Narro-221; mientras que Cerro prieto a las 12 y 16 horas de imbibición se ubicó en un segundo grupo estadístico con el menor volumen al igual que el genotipo Narro 190, quienes se destacaron por absorber el menor volumen durante los tiempos estudiados.

### **Análisis de Regresión**

Los análisis de regresión mostraron que las cebadas exhibieron un comportamiento lineal para el volumen de agua absorbido y comportamiento de tipo cuadrático para la tasa de imbibición y la CE, reportando valores de  $R^2$  de 0.99 en la tasa de imbibición y de al menos 0.82 en la CE, tal como aparece en el Cuadro 4.8. Esto sugiere que el volumen de agua absorbido continuará aumentando de esa forma cuando se realice la protrusión de la radícula y dependiendo de la tasa de crecimiento de la nueva plántula podrá ser

modificado, mientras que el comportamiento cuadrático indica la existencia de un máximo pico de imbibición o conductividad o en su caso la existencia de un mínimo, cuyo indicio principal lo sugerirá la gráfica (en este estudio con la gráfica se infiere la existencia de un máximo para tasa de imbibición y conductividad eléctrica).

Al obtener la segunda derivada de las funciones de respuesta de ambas variables con comportamiento cuadrático se confirmó la existencia de un máximo (dado el signo negativo de la segunda derivada) y se procedió a despejar el valor de dicho máximo en la primera derivada.

En ese Cuadro 4.8, se aprecia que el rango de los tiempos para alcanzar la máxima tasa de imbibición varió entre 24.26 y 29.76 horas, correspondientes a Cerro prieto y Narro-95, respectivamente. Por su parte, la máxima conductividad eléctrica se presentó en el intervalo entre las 6.25 y 8.50 horas, correspondientes a los genotipos Esperanza y Narro-95 respectivamente.

Los valores de  $R^2$  superiores a 0.8 brindan una excelente explicación del fenómeno estudiado y si obtenemos la raíz cuadrada de dichos valores encontraremos el coeficiente de correlación entre ambas variables. La correlación general entre las variables evaluadas en cebada fue positiva y significativa, varió desde un  $r=0.79$  entre el volumen de agua absorbida y la conductividad eléctrica, hasta un  $r=0.91$  entre el volumen de agua absorbida y la CE, en tanto que la correlación entre la tasa de imbibición y la CE se encontró en  $r=0.80$ , siendo valores muy aceptables en el estudio de las relaciones entre variables.

**Cuadro 4.8 Funciones de respuesta de la tasa de imbibición y conductividad eléctrica, coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y tiempo donde se presentó la máxima respuesta (T.Max.) en genotipos de cebada.**

Genotipo	Respuesta	$R^2$	T. Max.
Tasa de imbibición			
Esperanza	$27.612 + 1.057X - 0.020 X^2$	0.994	26.42
Cerro prieto	$27.907 + 1.019X - 0.021 X^2$	0.997	24.26
Narro 95	$33.971 + 1.131X - 0.0419X^2$	0.998	29.76
Narro 190	$35.789 + 1.042X - 0.020 X^2$	0.998	26.05
Narro 221	$34.098 + 1.108X - 0.021 X^2$	0.997	26.38
Conductividad eléctrica			
Esperanza	$89.868 + 3.077X - 0.246X^2$	0.827	6.25
Cerro Prieto	$71.356 + 2.315X - 0.158X^2$	0.879	7.33
Narro 95	$84.180 + 2.804X - 0.165X^2$	0.914	8.50
Narro 190	$78.680 + 2.334X - 0.171X^2$	0.877	6.82
Narro 221	$81.395 + 2.718X - 0.171X^2$	0.901	7.95

Al obtener la correlación entre la tasa de imbibición y la CE para cada genotipo se encontró un valor de  $r=0.91$  para los genotipos Narro-95 y Narro-221, obteniéndose un valor de  $r=0.90$  para la línea Narro-190 y la variedad Cerro prieto, en tanto que la variedad Esperanza mostró la correlación más baja entre estas dos variables con  $r=0.8$ , todas positivas y significativas.

De acuerdo con lo reportado por Ashraf y Nisar (1998) y dada la correlación encontrada entre la tasa de imbibición y la conductividad es de esperarse que al remover las cubiertas de la semilla de cebada se incremente tanto la tasa de imbibición como la conductividad.

La ocurrencia de la máxima tasa de imbibición pudiera marcar un punto de saturación inicial y el tramo de arranque de una segunda etapa del proceso de germinación (actividad enzimática), acerca de lo cual es necesario realizar más estudios; al respecto, Méndez-Natera *et al.*, (2008), sólo mencionan la segunda etapa como un período de retraso en la absorción de agua (Fase II del proceso de germinación), misma que puede presentarse también en semillas

muertas y latentes, pero al contrario de semillas germinando ellas no entran en la Fase III, la cual está asociada con la protrusión de la radícula.

En este estudio las semillas no presentaron latencia y se propone que el tiempo de ocurrencia de la tasa máxima de imbibición pueda considerarse como el tiempo máximo para los tratamientos de hidroacondicionamiento de los genotipos.

Por su parte la conductividad eléctrica, dado que ocurrió dentro en las primeras 10 horas de imbibición, pudiera representar una opción de mayor confianza para determinar los tiempos óptimos de hidroacondicionamiento de los genotipos estudiados, pues presenta una buena correlación positiva y significativa con la tasa de imbibición, pero sin representar un riesgo para que se inicie la protrusión de la radícula, respecto a lo cual se recomienda realizar mayor investigación, y posiblemente poder establecer de manera preliminar un tiempo mínimo de imbibición considerando como punto de arranque el tiempo necesario para alcanzar el máximo de la CE y el tiempo máximo obtenido en la tasa de imbibición.

## V. CONCLUSIONES

Analizando los resultados obtenidos, podemos concluir lo siguiente:

- Es necesario determinar la ocurrencia de la máxima tasa de imbibición y conductividad eléctrica como punto de partida para aplicar el hidroacondicionamiento acorde a cada genotipo.
- Por la alta correlación positiva y significativa entre la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica cualquiera de ellas puede usarse como indicador de la otra en estos genotipos.
- La cebada por presentar cubiertas adheridas en su semilla requiere mayor tiempo de imbibición que otros cereales, pero su mayor CE se presenta entre un 23 y 30% antes del tiempo requerido para alcanzar su máxima tasa de imbibición.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Ashraf M and S Nisar, 1998. Germination patterns and electrolytes leakage during imbibitions of intact and naked seeds of *Salvadora oleoides*. Pak. J. Biol. Sci. No.1. 287-290.
- Ashraf M, Nasim F and MM Hussain. 2001. Efflux of inorganic ions in leachates of wheat seeds. OnLine Journal of Biological Sciences. 1(1):1-3.
- Aragón, Poehlman, Zamora, Santibáñez, Roberts *et al.*; Moreno, Bower y Fireman. 1995. Productos Agri-nova Science. FAO.
- Azcón -Bieto, J y Talón M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Interamericana/ McGraw-Hill.
- Azcón y Talón, 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.
- Basra, J. 2006. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. Agronomía costarricense 25(1): 67-92.
- Butola, J. S., and H. K. Badola. 2004. Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in *Angelica glauca*, a threatened medicinal herb. Curr. Sci. 87: 796-796.
- Cabañas, J. 2004. Manejo integrado del cultivo de cebada en condiciones de temporal en san Luis Potosí. INIFAP.
- CIANO, 1969. Cebada Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SAG.
- Chávez, A. L, 1993. Mejoramiento de plantas 1. Editorial Trillas. México. 136 p.
- Colín, R. M, 2007. Producción de Materia Seca, Valor Nutritivo e Interacción Genotipo Ambiente en Líneas Imberbes de Cebada Forrajera. Tesis de Maestría, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Coll, J. B., G. N. Rodrigo, B. S. García and R. S. Tamés, 1995. Fisiología vegetal. Madrid. Ediciones Pirámide. 662 p.
- Copeland L O and MB McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. (4<sup>ta</sup> ed.). Kluwer Academic Publishers.

- Domínguez-Domínguez S, Domínguez-López A, González-Huerta A y S Navarro-Galindo. 2007. Cinética de imbibición e isothermas de adsorción de humedad de la semilla de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 6. No.3. 309-316.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. 31(1)74-85.
- FAO, 1994. Requerimientos Agroecológicos de cultivos.
- Felipe, G. A. 2013. Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso en borregos; *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19 (4): 35-43, Edición Especial.
- Flores, L. 2005. Impacto Económico del Mejoramiento Genético de la cebada en México, INIFAP.
- González, G. 2001. Aplicación de tratamientos pregerminativos a semillas de Siratro. Simposio de Botánica, La Habana, Cuba. P.251-264.
- González, G., F. M. Mendoza, J. Covarrubias, N. Morán, & J.A. Acosta. 2008. Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del Bajío. *Agricultura Técnica en México*. 34(4):421-430.
- Giri GS and Schillinger WF. 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. *Crop Sci*. No. 43. 2135-2141.
- Gamboa, A., R. Cruz Ortega, E. Martínez-Barajas, M. E. Sánchez-Coronado, and A. Orozco-Segovia. 2006. Natural priming as an important metabolic event in the life history of *Wigandia wens* (Hydrophyllaceae) seeds. *Physiol. Plant*. 128: 520–231.
- Heydecker W.J. Higgins, and R. L. Gulliver. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature* 246; 42–46.
- Hampton y Tekrony 1995. Prueba de la conductividad eléctrica en la evaluación fisiológica de la calidad de semillas en *Zeyheria tuberculosa* Bosque.
- Méndez- Natera JR, Merazo-Pinto JF y NJ Montaña-Mata. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). *Revista UDO Agrícola*. Vol 8. No.1. 61-66.
- Mirdad, Z., 2006. Prediction of germination in artificially aged seeds of *Brassica* spp. using the bulk conductivity test. *Seed Sci. Technol.*, 34 (2): 273-286.

- Montejo, L. 2002. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía costarricense* 25(1): 67-92.
- Moreno, F., G. A. Plaza y S. V. Magnitskiy. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana*. 24(2):290-295.
- Moreno, M. E. 1992. Análisis físico y fisiológico de semillas agrícolas. Tercera edición, UNAM. Ciudad Universitaria, México, DF. 393 p.
- Nobel, P.S. (1999). *Plant Physiology*. 2nd Edition. Academic Press. USA . Pp: 372-373.
- Paiva, É. A., J.P. Lemos, & D. M. 2006. Trombert. Imbibition of *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) seeds: the role of stomata. *Annals of Botany*. 98(1):213-217.
- Poelhman, J. M. 1981. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa. México.
- Pérez, L. 2010. *Morfología y Taxonomía de la Cebada*. Administración de negocios, Universidad Privada Juan Bautista.
- Orta, R. 1998. Tratamientos pregerminativos de hidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía costarricense*.
- Quiroz, J., L.M. García, & F.R. Quiroz. 2012. Mejoramiento vegetal usando genes con funciones conocidas. *Ra Ximhai*, 8(3b):79-92.
- Ramírez, J. 2008. Guía para producir semilla de cebada maltera en surcos en el bajío. Inifap.
- Robles SR, 1990. Producción de granos y forrajes. Quinta Ed. Limusa. México DF. P.664
- Rosas, S. 2003. Mejoramiento Vegetal usando genes con funciones conocidas. *Ra Ximhai*.
- Roberts, J. A. y O. M. 1998. *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. FAO.
- Sánchez-Pérez MI, Muñoz-Mejía CY, Quiróz-Velásquez JDC, Mayek-Pérez N y JL Hernández-Mendoza. 2010. Cambios físico-químicos durante la germinación del maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* Vol.1. No.1. 2010. 89-93.
- Sánchez, J. A. 2013. *Producción de granos y forrajes*. Limusa. México DF.

- Sánchez, J. A., R. Orta, y B. Muñoz. 2001. Tratamientos pre germinativos de hidratación–deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. Agr. Costarr. 25: 67–92.
- Sánchez, J. M., J. A. y A. Hernandez. 1999. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara
- Santibáñez, O. 1994. Manejo integrado del cultivo de cebada en condiciones de temporal en san Luis Potosí. INIFAP.
- Segovia, A. 2007. Los sentidos de las plantas. La sensibilidad de las semillas a la luz. Ciencia. 43:399-441.
- SIAP, 2009. Dirección General Adjunta de Planeación Sectorial.
- Soto Gonzales, José Luis, Valiengo Valeri, Sérgio, 2011. Prueba de la conductividad eléctrica en la evaluación fisiológica de la calidad de semillas en Zeyheria tuberculosa de Bosque.
- Schmidt DH and Tracy WF. 1989. Duration of imbibitions affects seed leachate conductivity in sweet corn. Hort. Sci. Vol. 24. 346-347.
- Steel RGD and JH Torrie. 1996. Bioestadística: principios y procedimientos. (2<sup>da</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Stewart J. 2008. Calculus: early transcendentals. (6<sup>th</sup> Ed.) Brooks/Cole.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 1994. Fisiología Vegetal. Ed. Iberoamericana, México.
- SIACON, 2004. Impacto Económico del Mejoramiento Genético de la cebada en México. INIFAP.
- SAGARPA, 2006. Secretaría de Agricultura. Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA, 2001. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaría de Agricultura. Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Tajbakhsh M, 2000. Relationships between electrical conductivity of imbibed seeds leachate and subsequent seedling growth (viability and vigour) in Omid wheat. J. Agr. Set. Tech. Vol. 2. 67-71.