

Conductividad eléctrica y tasa de imbibición de semillas de trigos forrajeros

Electrical conductivity and seed imbibition rate of seed wheat

Miguel Ángel Valdez-Hernández¹, María Alejandra Torres-Tapia^{2*},
Víctor Manuel Zamora-Villa³, Modesto Colín-Rico³,
Mario Ernesto Vásquez-Badillo²

¹Maestría en Tecnología de Granos y Semillas, ²Centro de Capacitación de Tecnología de Granos y Semillas, ³Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 25315. Tel. (844)4110377 y 78. E-mail: atorres_tapia@hotmail.com
[*Autor responsable].

RESUMEN

Con el propósito llevar a cabo este estudio para determinar la tasa de imbibición, el volumen de agua absorbida y la conductividad eléctrica para obtener su respuesta y valor máximo, se seleccionaron cinco trigos (cuatro líneas forrajeras y una variedad de grano), los cuales se evaluaron en condiciones de laboratorio, a intervalos de cuatro horas, bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los datos se analizaron como completamente al azar para cada lectura, y como parcelas divididas en completamente al azar para el conjunto de éstas; se consideraron 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 para conductividad eléctrica. La respuesta del agua absorbida fue lineal, mientras que para la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica, la respuesta fue de tipo cuadrático. Los valores máximos de la tasa de imbibición en los trigos oscilaron entre las 9.58 y 13.56 horas. La conductividad eléctrica se presentó entre 6.93 y 9.87 horas. Hubo altas correlaciones positivas y significativas entre las tres variables, por lo que se concluyó que, dada 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.

Palabras clave: conductividad eléctrica, tasa de imbibición, semilla, trigo

ABSTRACT

Five wheat (four forage lines and a variety of grain) were used to determine the rate of imbibition, water volume absorbed and electrical conductivity for its response and maximum value. They were evaluated in laboratory conditions under a completely random design with three repetitions at intervals of four hours. Data were analyzed as a completely random for each reading and divided into completely random for all readings taken, taking readings as large plot and genotypes as small plot plots. The results showed significant ($p < 0.01$) between readings and genotypes for the three variables and there was significance in the reading * interaction genotypes for electrical conductivity. The response was linear absorbed water, while the rate of imbibition for the electrical conductivity and the response was quadratic. The maximum values of the rate of imbibition wheat ranged between 9.58 and 13.56 hours. The electrical conductivity is provided between 6.93 and 9.87 hours. High significant positive correlations were found between the three variables, concluding that given the high positive and significant correlation between the rate of imbibition and electrical conductivity either may be used as another indicator.

Key words: electrical conductivity, imbibition rate, seed, wheat.

INTRODUCCIÓN

El fitomejoramiento produce genotipos con nuevas combinaciones de genes cuyo potencial genético está contenido y es transmitido mediante la semilla, estructura que, sin lugar a dudas, es uno de los componentes esenciales de la agricultura (Copeland y McDonald, 2001). Otro componente vital para la producción agrícola es el agua, sin la cual es imposible la germinación.

La germinación es un proceso que inicia con la imbibición de la semilla y termina con la emergencia de la nueva plántula. La imbibición se caracteriza por la rápida hidratación de la semilla, la cual tradicionalmente se calcula al medir el porcentaje de incremento de peso a través del tiempo, con respecto al peso inicial.

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). Durante la imbibición se presenta una lixiviación de sustancias desde la semilla, principalmente potasio, fosfatos, azúcares y aminoácidos (Schmidt y Tracy, 1989); la cantidad de estos electrolitos se mide por la conductividad eléctrica (CE), que se ha evaluado como un método para medir la viabilidad y vigor de plántulas en trigo y otros cultivos. Al respecto, existen estudios en los que se correlaciona el incremento de la CE con un decremento de la germinación y vigor de la semilla en varias especies, y otros en los cuales las 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). Para ambas variables no se ha encontrado reporte donde se determine su valor máximo.

Con el acondicionamiento de la semilla se busca iniciar el proceso de germinación sin llegar a concluirlo; como procedimiento general, se hidrata parcialmente la semilla para luego secarla y, posteriormente, usarla en la siembra. Esta estrategia se usa sobre todo en regiones donde se siembra bajo condiciones de temporal, para asegurar el establecimiento del cultivo; sin embargo, no se tiene un sustento sólido respecto al tiempo óptimo de imbibición, aunque existen reportes en los que se señala que el trigo se acondiciona a intervalos de 12 horas (Giri y Schillinger, 2003). En este estudio se propone determinar la tasa de imbibición y conductividad eléctrica, y que los máximos

encontrados pudieran usarse como indicadores del tiempo de imbibición necesario para el adecuado hidroacondicionamiento de la semilla, los cuales son específicos para cada genotipo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los genotipos de trigo harinero evaluados en laboratorio constaron de cuatro líneas forrajeras: AN-236-99, AN-263-99, AN-363-09 y AN-373-09, todas ellas sin aristas en la espiga, y la variedad Bacanora, con barbas o aristas. Las líneas las desarrolló el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con el propósito de obtener mayor producción de biomasa.

La determinación de la tasa de imbibición involucró el registro del peso inicial en gramos de 100 semillas, las cuales se colocaron en vasos de precipitado de 150 mL, a los que posteriormente se les agregó 100 mL de agua destilada; se les dejó imbibir a temperatura ambiente, y transcurridas cuatro horas, se les decantó el agua en una probeta graduada a través de un colador, para luego registrar el volumen sobrante del inicial; a la semilla se le quitó con papel absorbente el resto posible de agua superficial, se pesó nuevamente y se registró el peso adquirido en gramos. Una vez evaluado lo anterior, nuevamente se agregaron 100 mL de agua destilada a la semilla de cada repetición. Este proceso se realizó cada cuatro horas en todos los genotipos hasta observar una germinación fisiológica del 50% más uno, tomando la anotación del volumen absorbido y peso adquirido en este lapso. Para determinar la CE, antes de realizar el procedimiento de extracción y peso de la semilla descrito se usó un conductímetro marca Hanna HI 8733, y las lecturas se asentaron en micro Siemens por centímetro (mS/cm).

De cada genotipo se tuvieron tres repeticiones en un arreglo completamente al azar.

En cada lectura se calculó la tasa de imbibición como porcentaje de incremento de peso (W_f) con respecto al peso inicial (W_i). Como los genotipos mostraron distintos contenidos de humedad inicial (H_i), se ajustó cada cálculo (AA) con la fórmula empleada por Domínguez-Domínguez *et al.* (2007), expresándola finalmente como porcentaje, según la ecuación 1.

$$AA = \frac{wf - wi}{wi \left(1 - \frac{Hi}{100}\right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Para las tres variables determinadas en ambas especies, se realizaron análisis de varianza de cada lectura 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); 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 presente 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).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza mostraron alta significancia entre genotipos y tiempos de imbibición para las tres variables evaluadas, y en la interacción tiempos por genotipos con la CE sólo se encontró significancia de ($p < 0.01$); tal interacción se explica con el comportamiento diferencial exhibido por los genotipos

AN-373-09 y AN-366-09, que iniciaron con alta CE y posteriormente la disminuyeron, en tanto que la línea AN-236-99 tuvo un comportamiento a la alza, que superó a las líneas antes mencionadas en las lecturas finales.

Se observó una tendencia en el comportamiento del genotipo AN-236-99 para las variables evaluadas: en el volumen de agua absorbida, las líneas AN-236-99 y AN-263-99 se ubicaron en el primer grupo de significancia (DMS al 0.05), seguidas de las AN-366-09 y AN-373-09 en el segundo grupo y, finalmente, la variedad Bacanora en el último grupo. En la tasa de imbibición, AN-236-99 se ubicó de nuevo en el primer grupo, seguida por Bacanora en el segundo y AN-373-09 en el tercero, en tanto que AN-263-99 y AN-366-09 se ubicaron en el último grupo estadístico. Esto puede visualizarse en la Figura 1, donde se aprecia que las dos líneas inferiores (AN-263-99 y AN-366-09) tuvieron prácticamente la misma tendencia, y el comportamiento de AN-236-99 fue superior en todos los tiempos en que se determinó la tasa.

Respecto a la CE, la variedad Bacanora se ubicó en el primer grupo de significancia, seguida de las líneas AN-373-09, AN-366-09 y AN-236-99 en el segundo y con la AN-263-99 en el tercer y último grupo. Estos comportamientos se aprecian en la Figura 2. Es interesante hacer notar que la determinación de las variables en los trigos se realizó hasta llegar a las 26 horas, tiempo en el cual todos los

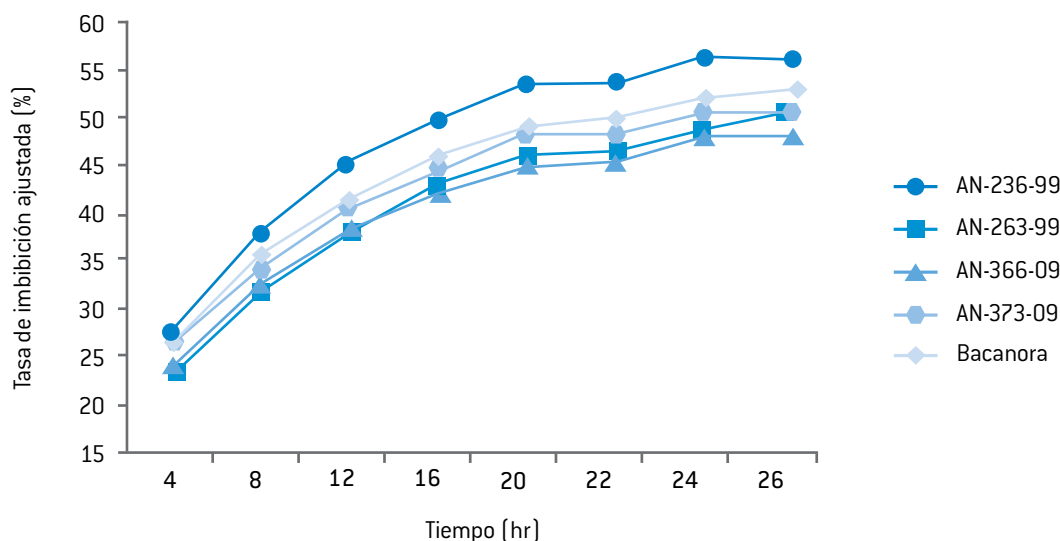


Figura 1. Tasa de imbibición ajustada por el contenido de humedad de la semilla de los genotipos de trigo.

genotipos alcanzaron el 50 más uno de porcentaje de germinación, aunque existieron genotipos como AN-236-99, AN-366-09 y AN-373-09 que finalizaron el proceso en 24 horas.

Los análisis de regresión mostraron una tendencia lineal para el volumen de agua absorbida, en tanto que para la tasa de imbibición y la conductividad eléctrica de los genotipos de trigo mostraron que la respuesta fue de tipo cuadrático (Cuadro 1), con coeficientes de determinación superiores al 0.95. Méndez-Natera *et al.* (2008) reportan una respuesta cuadrática y valores de $R^2 = 90.9$ para maíz, lo cual coincide con el presente estudio. Al obtener el valor máximo de las anteriores respuestas, se obtuvo que la máxima tasa de imbibición se presentó entre las 9.58 y 13.56 horas, correspondientes a los genotipos AN-236-99 y AN-263-99, respectivamente.

La CE también presentó una tendencia cuadrática, y sus valores máximos se ubicaron entre las 6.93 y 9.87 horas, correspondientes a las líneas AN-366-09 y AN-236-99, respectivamente, lo que concuerda con Ashraf *et al.* (2001), quienes indican que la lixiviación es más rápida durante las etapas tempranas de imbibición. Para estos genotipos de trigo, la proporción de la CE sobre la tasa de imbibición osciló entre 64.77% (AN-366-09) y 103.03% (AN-236-99), lo que indica que la máxima CE ocurrió desde un 64.77% menos del tiempo necesario para alcanzar la máxima tasa de imbibición.

Estos resultados caracterizan a la AN-236-99 como un genotipo que posee una alta tasa de imbi-

ción cuyo máximo ocurre inclusive antes de alcanzar el máximo de CE, lo cual puede deberse a la falta de habilidad para reorganizar completa y rápidamente las membranas celulares durante el inicio de la imbibición, tal como lo señala Tajbakhsh (2000).

La correlación general entre las variables evaluadas, varió desde un $r=0.83$ entre el volumen de agua absorbida y la conductividad eléctrica, hasta un $r=0.93$ entre la tasa de imbibición y la CE, en tanto que la correlación entre la tasa de imbibición y el volumen de agua absorbida se encontró una $r=0.90$, todas positivas y significativas.

Al obtener la correlación entre la tasa de imbibición y la CE para cada genotipo, se encontró un valor positivo y significativo de $r=0.98$ para los genotipos AN-366-09 y AN-373-09, en tanto que el valor positivo de $r=0.99$ lo alcanzaron la línea AN-263-99 y Bacanora, mientras que la línea AN-236-99 mostró una correlación perfecta y positiva ($r=1.00$) entre estas variables.

Estos resultados sugieren que, dada la positiva y alta correlación encontrada entre las variables evaluadas, cualquiera de ellas puede usarse como un indicador del comportamiento de la variable de interés para el investigador, o bien usar alguna de ellas para calcular indirectamente el comportamiento de la otra variable.

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

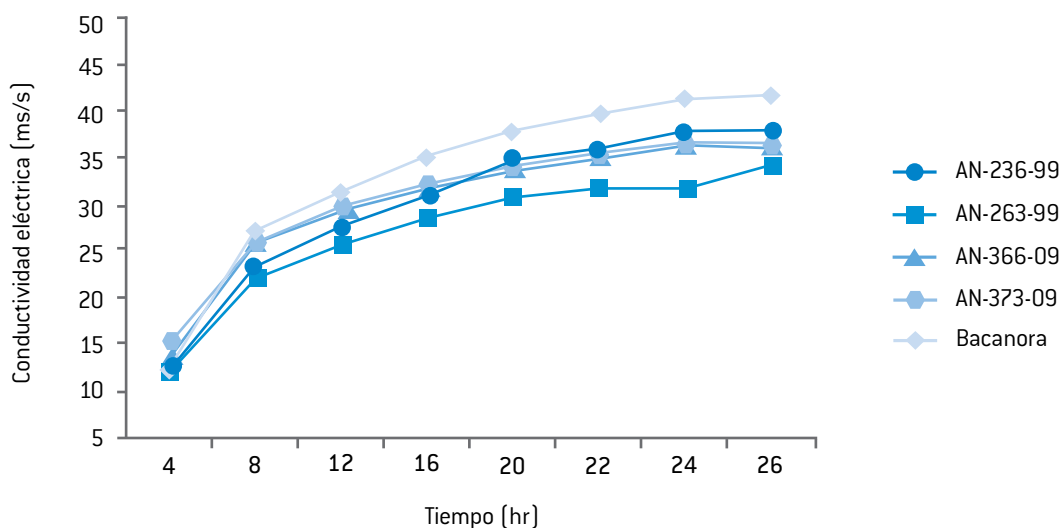


Figura 2. Conductividad eléctrica de los genotipos de trigo evaluados.

Cuadro 1. Funciones de respuesta de la tasa de imbibición y conductividad eléctrica, coeficientes de determinación (R²) y tiempo donde se presentó la máxima respuesta (T.Max.) en genotipos de trigo.

Genotipo	Respuesta	R ²	T. Max.
Tasa de imbibición			
AN-236-99	$32.542 + 1.092X - 0.057 X^2$	0.996	9.58
AN-263-99	$25.642 + 1.058X - 0.039 X^2$	0.994	13.56
AN-366-09	$27.504 + 0.920X - 0.043 X^2$	0.993	10.70
AN-373-09	$29.675 + 0.951X - 0.043 X^2$	0.997	11.06
Bacanora	$29.477 + 1.025X - 0.043 X^2$	0.995	11.92
Conductividad eléctrica			
AN-236-99	$16.803 + 0.967X - 0.049X^2$	0.983	9.87
AN-263-99	$17.324 + 0.742X - 0.040X^2$	0.976	9.27
AN-366-09	$21.250 + 0.749X - 0.054X^2$	0.955	6.93
AN-373-09	$21.746 + 0.726X - 0.050X^2$	0.967	7.26
Bacanora	$19.898 + 1.028X - 0.060X^2$	0.966	8.57

cual es necesario realizar más estudios; al respecto, Méndez-Natera *et al.* (2008) sólo la mencionan como un periodo de retraso en la absorción de agua (Fase II del proceso de germinación), mismo que puede presentarse también en semillas muertas y latentes, pero al contrario de semillas que están en proceso de germinación, 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 en los genotipos, respecto a lo cual es necesaria más evidencia, ya que resultados preliminares han mostrado que un triticale hidroacondicionado por 14 horas (la mitad del tiempo de ocurrencia de su tasa máxima de imbibición), presenta protrusión de la radícula (datos preliminares no mostrados).

Por su parte, dado que la CE 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, ya que presenta una correlación positiva y significativa con la tasa de imbibición, pero sin representar un riesgo de que se inicie la protrusión de la radícula.

CONCLUSIONES

Los resultados encontrados permiten concluir que es necesario determinar la ocurrencia de la máxima tasa de imbibición y CE 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 CE, cualquiera de ellas puede usarse como indicador de la otra en este cereal. La mayor CE se presentó entre un 60% antes del tiempo requerido para alcanzar la máxima tasa de imbibición, hasta igualar el tiempo requerido para alcanzar la máxima tasa de imbibición.

LITERATURA CITADA

- ASHRAF M. and S. Nisar. Germination patterns and electrolytes leakage during imbibitions of intact and naked seeds of *Salvadora oleoides*. Pak. J. Biol. Sci. No.1. 1998. 287-290.
- COPELAND L. O. and M.B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. (4th ed.). Kluwer Academic Publishers.
- DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ S., Domínguez-López A., González-Huerta A. y S. Navarro-Galindo, 2007. Cinética de imbibición e isoterma de adsorción de humedad de la

- semilla de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 6. No.3. 2007. 309-316.
- GIRI G.S. and Schillinger W.F., 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. *Crop Sci.* 43:2135-2141.
- MÉNDEZ-NATERA J.R., Merazo-Pinto J.F. y N.J. Montañomata, 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*. 8(1):61-66.
- SCHMIDT D.H. and Tracy W.F., 1989. Duration of imbibitions affects seed leachate conductivity in sweet corn. *Hort. Sci.* 24:346-347.
- STEEL R.G.D. and J.H. Torrie, 1996. *Bioestadística: principios y procedimientos*. (2^{da} Ed.). McGraw-Hill.
- STEWART J., 2008. *Calculus: early transcendentals*. (6th Ed.) Brooks/Cole.
- TAJBAKHSI M., 2000. Relationships between electrical conductivity of imbibed seeds leachate and subsequent seedling growth (viability and vigour) in Omid wheat. *J. Agr. Set. Tech.* 2:67-71.