

IMBIBICIÓN DE SEMILLAS DE CUATRO CULTIVARES DE MAÍZ (*Zea mays* L.)*

Imbibition of seeds of four maize cultivars (*Zea mays* L.)

Yusuli Moncada¹, Crispulo Marrero¹ y Pedro Salazar¹

RESUMEN

Debido a la selección de plantas, el maíz presenta cultivares que producen, con respecto a la semilla, endospermos de texturas muy variables. Es importante proporcionar los requerimientos ambientales adecuados durante la germinación, y así propiciar procesos fisiológicos favorables que aseguren el establecimiento de una planta productiva en el campo por cada semilla plantada; ya que es el insumo primordial para obtener buenas cosechas. Una semilla de calidad debe poseer buenas cualidades genéticas, físicas y biológicas. Con la finalidad de evaluar el comportamiento de la imbibición de semillas de cuatro cultivares de maíz con endospermos de diferentes texturas, en febrero de 2017, en la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), municipio Guanare, estado Portuguesa, se instaló un ensayo como un diseño completamente al azar con 4 tratamientos (maíz cariaco, cotufero, dulce y normal), 3 repeticiones y 6 observaciones de imbibición repetidas en el tiempo. Las variables evaluadas fueron porcentaje de imbibición cada 6 h hasta las 36 h, tasa de imbibición y porcentaje de semillas con radícula a las 36 h. Se correlacionó el peso, volumen y densidad de la semilla con el porcentaje de imbibición. A las 36 h del experimento, las semillas mostraron amplia variación ($p \leq 0,01$) en la capacidad de absorción de agua, el maíz cariaco acumuló 96,8 %; maíz normal 71,9 %; maíz dulce 49,4 % y maíz cotufero 35,4 %. A las 18 h de la imbibición, las semillas más pesadas y con mayor volumen, presentaron mayor porcentaje de imbibición. Independientemente del porcentaje de imbibición de las semillas, a las 36 h de la prueba, la aparición de la radícula fue parecida (varió entre 62,2 % y 72,4 % maíz dulce y normal, respectivamente). Es decir, la aparición de las radículas a las 36 h de la prueba, ya no estuvo asociada con la cantidad de agua embebida por la semilla ($r = 0,3142$). La tasa de imbibición para todos los cultivares fue mayor en las primeras 6 h de la prueba, se destacó el maíz cariaco con 12,5 % de imbibición/h, el cual tiene el endospermo más suave (menos denso) los demás cultivares presentaron una tasa de imbibición similar (entre 4,1 y 4,3 %/h).

Palabras clave: curva de imbibición, tasa de imbibición, endospermo, germinación

ABSTRACT

Due to the selection of plants, corn has cultivars that produce, with respect to the seed, endosperms of highly variable textures. It is important to provide the adequate environmental requirements during germination, and thus promote favorable physiological processes that ensure the establishment of a productive plant in the field for each seed planted; since it is the primary input to obtain good harvests. A quality seed must have good genetic, physical and biological qualities. In order to evaluate the behavior of the seed imbibition of four corn cultivars with endosperms of different textures, in February 2017, at the Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), Guanare municipality, Portuguesa state, installed a trial as a completely randomized design with 4 treatments (cariaco, cotufero, sweet and normal corn), 3 repetitions and 6 repeated imbibition observations in time. The variables evaluated were percentage of imbibition every 6 h until 36 h, rate of imbibition and percentage of seeds with radicle at 36

(*)Recibido: 22-04-2020

Aceptado: 28-10-2020

¹Programa Ciencias del Agro y del Mar. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), Guanare 3350, Po. Venezuela. pesala59@gmail.com

h. The weight, volume and density of the seed were correlated with the percentage of imbibition. At 36 h of the experiment, the seeds showed wide variation ($p \leq 0.01$) in the water absorption capacity, the cariaco corn accumulated 96.8 %; normal corn 71.9 %; sweet corn 49.4 % and cotufero corn 35.4 %. At 18 h after imbibition, the heaviest seeds and with greater volume, presented a higher percentage of imbibition. Regardless of the percentage of imbibition of the seeds, at 36 h after the test, the appearance of the radicle was similar (it varied between 62.2 % and 72.4 % sweet and normal corn, respectively). That is, the appearance of radicles at 36 h after the test was no longer associated with the amount of water absorbed by the seed ($r = 0.3142$). The imbibition rate for all cultivars was higher in the first 6 h of the test, Cariaco maize stood out with 12.5 % imbibition/h, which has the softest endosperm (less dense) the other cultivars presented a similar imbibition rate (between 4.1 and 4.3% / h).

Key words: imbibition curve, imbibition rate, endosperm, germination

INTRODUCCIÓN

Producto de la selección de plantas realizada por el hombre, actualmente dentro de cada especie cultivada existe gran diversidad de cultivares que satisfacen las exigencias particulares de la industria, personas, comunidades y países (culturas). Detrás de esta amplia gama de vegetales está el esfuerzo continuo del hombre desde que dejó de ser cazador-recolector y comenzó a sembrar semillas de las plantas que seleccionaba. Cubero (1999) comenta que el redescubrimientos de las leyes de Mendel en 1900, propició el desarrollo de la mejora genética de plantas. Esto demuestra que desde el origen de la agricultura (hace unos 10.000 años), la semilla, además de ser fuente de alimento, ha sido fundamental para la sobrevivencia de la especie y fuente de variabilidad genética para derivar materiales de nuestro interés.

Salisbury y Ross (1992) al referirse a las semillas (ortodoxas), comentan que es impresionante su comportamiento, al entrar en una especie de animación suspendida, permanecen vivas sin crecer e inician el crecimiento cuando las condiciones son adecuadas. Ese crecimiento inicial (germinación) de las plántulas cuando las condiciones son favorables, estos autores la resumen en cuatro etapas: (1) hidratación del embrión, proteínas y otros coloides, (2) aumento del metabolismo por la activación y formación de enzimas, (3) crecimiento y emergencia de la radícula (germinación) y (4) crecimiento de la plántula. Desde el punto de vista fisio-bioquímico, información más específica sobre el proceso de germinación en cereales, lo reseñan la Universidad

Politécnica de Valencia (2003), Suarez y Melgarejo (2010) y Doria (2010) y se resume de la siguiente manera: la absorción de agua (imbibición) por la semilla es el primer paso de la germinación, promueve una cascada de rutas metabólicas que abarca aumento de la respiración, síntesis proteica, desdoblamiento enzimático y movilización de las reservas; lo que promueve la división y alargamiento celular que se traduce en la protusión radical y crecimiento del hipocótilo.

Inicialmente la absorción de agua por la semilla es rápida, se hidrata por las diferencias de potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición, se requiere oxígeno para la activación de tres rutas respiratorias (glucólisis, ciclo de las pentosas fosfato y ciclo de Krebs) para producir ATP y pirimidín nucleótidos. El embrión libera giberelinas que se trasladan por difusión a la capa de aleurona donde induce la síntesis de enzimas hidrolíticas como lipasas, proteasas y amilasas.

Como la principal reserva energética de la semilla es el almidón, las enzimas amilasas (α -amilasa, β -amilasa) son importantes, se movilizan al endospermo y desdoblan el almidón a azúcares sencillos (glucosa) que movilizados al embrión, sirven como fuente de energía. La degradación del almidón se incrementa progresivamente con la germinación, por la demanda creciente de energía (hay demanda de azúcares). Las reservas proteicas que están en la capa de aleurona, también son hidrolizadas por proteasas para simplificarlas en pequeños péptidos y aminoácidos. Los aminoácidos serán utilizados en la síntesis de nuevas proteínas

para la plántula o metabolizados para generar energía mediante la oxidación de su esqueleto carbonado [Universidad Politécnica de Valencia (2003), Suarez y Melgarejo (2010), Doria (2010) y Pita y Pérez (s/f)].

Las reservas de lípidos (ej. triglicéridos) son metabolizados (por las lipasas) para producir ácidos grasos y glicerol, los ácidos grasos son oxidados a acetil CoA y luego a succinato, que en las mitocondrias es convertido en oxalacetato y finalmente se forma sacarosa en el citoplasma.

La producción de ácidos nucleicos se inicia cuando hay suficiente proteína sintetizada, en la aleurona hay ribonucleasas que degrada ARN en nucleótidos, que son movilizados al embrión. También se supone que en el embrión se producen nucleótidos, utiliza como materia prima el nitrógeno de las proteínas. El embrión al tener a la disposición moléculas para la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos y energía, inicia la síntesis de sus propias moléculas y por consiguiente el alargamiento y división celular se materializa en el crecimiento de la radícula (protusión) y coleoptilo, es decir, la semilla ha germinado para convertirse en plántula. Todo el proceso descrito está marcado por actividades anabólicas y catabólicas (Desai 2004).

La germinación es un proceso metabólico muy estable, ya que al menos en *Phaseolus vulgaris*, Morales-Santos et al. (2017) encontraron que se mantiene invariable en semillas silvestres, domesticadas y sus progenies, pero si evidenciaron cambios en biomasa, grosor y largo de semillas. Hace suponer que en maíz también se presente esta situación.

Con relación a estudios de aspectos cuantitativos referidos a la germinación de semillas de maíz, López-Santillán et al. (2004) evaluaron la velocidad de germinación y crecimiento de plántulas de maíz provenientes de semillas de dos tamaños. Encontraron mayor vigor inicial y mayor acumulación de materia seca (radical y aérea) en las plántulas provenientes de semillas con mayor biomasa en el endospermo y embrión. Comentan que la semilla necesita imbibir una tercera parte de

su peso para que la germinación sea óptima y que semillas pequeñas (pocas reservas y tamaño reducido del embrión) provoca disminución en el vigor inicial de la plántula.

Méndez et al. (2008) evaluaron la relación entre la tasa de imbibición y porcentaje de germinación en semillas de maíz, caraota y quinchoncho, la tasa de imbibición de las tres especies presentó un comportamiento cuadrático, la mayor tasa de imbibición ocurrió a las 8; 10 y 10 h respectivamente. No hubo relación entre la tasa de imbibición y los porcentajes de germinación en ninguno de los cultivos.

Rangel-Fajardo et al. (2014) señalan que durante la madurez de la semilla ortodoxa, se vuelve tolerante a la deshidratación y durante la imbibición-germinación, esta se pierde. En maíz, mediante pruebas de germinación, envejecimiento acelerado y conductividad eléctrica, determinaron que esta tolerancia a la desecación se pierde a las 32 h de imbibición, con 30 % y 52 % de humedad en la semilla y en el embrión, respectivamente.

Pérez de la Cerda et al. (2007) evaluaron 56 cruzas simples de maíz con diferentes tipos de endospermo, para establecer la relación entre características estructurales y calidad fisiológica de la semilla. Encontraron que a medida que aumentaba la proporción de endospermo córneo se acumulaba mayor biomasa en la parte aérea y raíz de las plántulas, lo que es indicativo de mayor vigor. Con relación a la naturaleza del endospermo, Dombrink-Kurtzman y Knutson (1997), comentan que posee normalmente amilosa y amilopeptina en proporción 1:3, y que se hace más corneo (duro) a medida que aumenta la amilosa y disminuye la amilopeptina.

Pajic et al. citados por Pérez de la Cerda et al. (2007) evaluaron la germinación y emergencia de cinco genotipos de maíz con endospermo de diferentes texturas (uno dentado, uno cotufero, dos dulces y uno superdulce). El maíz dentado presentó mayor germinación y emergencia, el superdulce presentó menor desempeño, atribuido a la textura del endospermo, peso del grano, contenido de azúcar y al espesor y estructura del pericarpio.

Durante la germinación no solo ocurren los procesos metabólicos en las semillas, si no también se producen modificaciones del microambiente donde germina, al respecto, Sánchez-Pérez *et al.* (2010) estudiaron los cambios físico-químicos que ocurren en el medio, una vez germinada la semilla de maíz, encontraron que el pH bajó de 6,9 a 4,8; se produjo triptófano y trazas de ácido indolacético, antranílico, giberélico, así como kinetina y benciladenina, lo cual podría favorecer el crecimiento inicial de las plántulas. También observaron que las semillas incrementaron el peso fresco durante las 48 h de incubación, el peso fresco más alto se presentó a las 24 h. A las 48 h el peso seco de las semillas se redujo (alrededor del 5 %) debido a la utilización de las reservas del endospermo para la germinación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de la imbibición de semillas de cuatro cultivares de maíz con endospermo de diferentes texturas y su relación con la emergencia de la radícula.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en febrero de 2017 en la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), municipio Guanare, estado Portuguesa. La prueba estuvo a la temperatura del ambiente (26 °C promedio) y fue instalada como un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos repetidos en el tiempo (seis muestreos) y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: 1- maíz cotufero (endospermo duro), 2- maíz Cariaco (endospermo suave o almidonoso), 3- maíz criollo dulce (endospermo translucido y duro con mayor contenido relativo de azúcares) y 4- maíz normal (endospermo dentado y duro). En bandejas de 40x60 cm con papel absorbente humedecido se colocaron, previamente pesadas, 30 semillas por unidad experimental y repetidas seis veces, correspondiente al número de muestreos, fueron cubiertas con papel humedecido y se protegieron con plástico "envoplast". Para obtener la densidad de las semillas (gr/cm^3) se pesaron 300 y fueron introducidas en un cilindro graduado donde se midió el volumen de agua desplazado por cada tipo de semilla.

Las mediciones de la imbibición se realizaron cada seis horas (6; 12; 18; 24; 30 y 36 h), para cada lapso, se colectaba una hilera de cada material (30 semillas) en cada repetición, se les retiraba la humedad externa (con papel absorbente) y se procedía a pesarlas en una balanza de precisión, y así obtener el incremento del peso producto de la imbibición. Estos valores se utilizaron para construir la curva de imbibición y para el cálculo de la tasa de imbibición. Como a las 36 h se observó presencia de radículas en la mayoría de semillas de cada tratamiento, se contabilizó el porcentaje respectivo.

Los datos fueron analizados mediante el programa Statistix versión 8.0. Se aplicó el análisis de la varianza para un modelo completamente aleatorizado (para porcentaje de imbibición de las semillas y presencia de radículas a las 36 h de la prueba) y análisis de la varianza combinado en el tiempo para el mismo modelo estadístico para la variable progreso de imbibición). Los promedios se compararon mediante la prueba de Tukey (5%). Para los pesos, volumen y densidad de las semillas se analizaron las correlaciones lineales de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la varianza detectó diferencias ($p \leq 0,01$) para el porcentaje de agua embebida por las semillas a las 36 h. No se detectaron diferencias estadísticas ($p \geq 0,05$) para el porcentaje de semillas con radícula a las 36 h de imbibición. Con la interacción tratamientos x tiempo de imbibición, se detectó que el patrón de imbibición de los cuatro cultivares (4 tipos de semillas) mostró tendencias parecidas ($p \geq 0,05$).

En la Tabla 1 se expone la agrupación de los promedios a las 36 h de la prueba, según Tukey (5 %). La semilla de maíz cariaco presentó mayor imbibición (96,8 %), formó el grupo superior. Seguido del maíz normal (71,9 %) en el grupo b. El maíz cotufero con el endospermo más compacto (duro) fue el que menos absorbió agua, comportamiento cercano lo presentó el maíz dulce. Se observa claramente que a medida que el endospermo es más duro (cotufero y dulce) la imbibición es menor. El endospermo más suave (menos duro) es el de cariaco seguido del maíz

normal. Dombrink-Kurtzman y Knutson (1997), determinaron que el endospermo suave contenía gránulos de almidón con poros distribuidos al azar y en el endospermo duro se observaron pocos poros. Esto explica la mayor acumulación de agua en los endospermos como los del maíz cariaco y la poca imbibición del maíz cotufero.

Independientemente del agua acumulada por los diferentes tipos de semillas, a las 36 h de imbibición se evidenció la radícula en porcentajes cercanos, varió de 62,2 % (maíz dulce) a 72,4 % (maíz normal). En resumen, no hay relación entre el porcentaje de imbibición y la ocurrencia de radícula

(la correlación no fue significativa). Al respecto Méndez *et al.* (2008) evaluaron la relación entre la tasa de imbibición y porcentaje de germinación en semillas de maíz, caraota y quinchoncho, no hubo relación entre la tasa de imbibición y los porcentajes de germinación en ninguno de los cultivos.

En este ensayo no hubo restricciones de humedad, por lo que no se pudo determinar la humedad mínima necesaria para que ocurra la germinación, López-Santillán *et al.* (2004) reportaron que debe ser un tercio del peso de la semilla.

Tabla 1. Comparación de promedios (Tukey 5 %) de la imbibición, presencia de radícula y consumo de materia seca (g) en semillas de cuatro cultivares de maíz.

Tratamiento	% de imbibición a las 36 h	% semillas con radícula a las 36 h
maíz cotufero	35,3 c*	71,1 a
maíz cariaco	96,8 a	68,9 a
maíz normal	71,9 b	72,4 a
maíz dulce	47,4 bc	47,4 a
Coefficiente de variación (%)	17,01	11,80

*letras diferentes en la misma columna indican promedios estadísticamente diferentes (Tukey %5).

En la Figura 1 se observa el comportamiento la imbibición en semillas de los cultivares de maíz hasta las 36 h de la prueba, que fue cuando se observó la emergencia de radículas. Esta interacción no presentó diferencias estadísticas. Aquí se aprecia ese comportamiento, ya que el patrón general de imbibición mantuvo a lo largo del tiempo una tendencia parecida en los cuatro tratamientos.

Resalta que el maíz cariaco a las 6 h de imbibición había absorbido el 75,1 % de su peso en agua. En toda la prueba la imbibición fue claramente superior a los demás cultivares, llegando a acumular 96,8 % de agua a las 36 h, seguido del maíz normal que acumuló 71,9 % de agua. El maíz cotufero con el endospermo más duro, en toda la prueba acumuló el menor porcentaje de imbibición, seguido por el maíz dulce, en la última observación (36 h) habían acumulado agua en 35,4 y 49,4 %, respectivamente.

Hasta las 30 h de la prueba, el porcentaje de imbibición estuvo en ascenso y se mantuvo prácticamente sin cambios entre las 30 y 36 h. Se destaca que el mayor porcentaje de imbibición para todos los tipos de semillas ocurrió las primeras 6 h, estuvo entre 75,1 % (cariaco) y 24,4 % (maíz dulce). En general, tres cultivares acumularon la mayor imbibición a las 30 h de la prueba. Sánchez-Pérez *et al.* (2010) observaron esta condición a las 24 h en semillas de un híbrido de maíz, en este caso no reportaron el tipo de endospermo. Un mayor tiempo (aproximadamente 36 h) para que las semillas alcancen la máxima imbibición lo obtuvieron Oguntunde y Adebawo (1989). En la presente investigación el resultado fue intermedio (30 h) al de los autores precedentes.

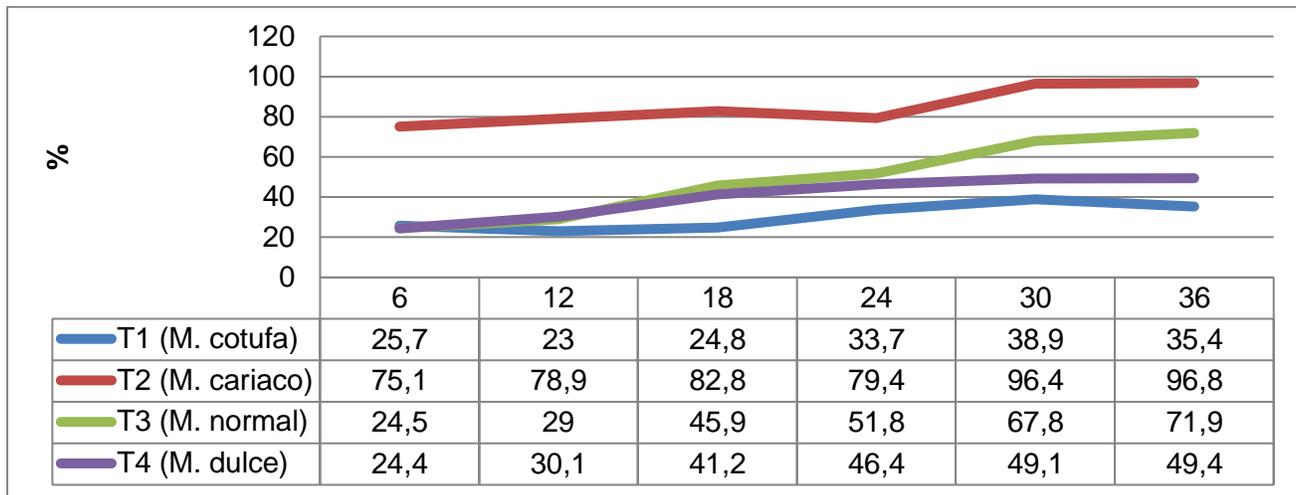


Figura 1. Evolución en el tiempo (de 0 a 36 h) de la imbibición (%) en semillas de cuatro cultivares de maíz (interacción tratamiento x tiempo).

En la Tabla 2 se observa que la tasa de imbibición para todos los cultivares fue mayor en las primeras 6 horas de la prueba, se destacó el maíz cariaco con 12,5 % de imbibición/h, el cual tiene el endospermo más suave (menos duro), los demás cultivares presentaron una tasa de imbibición de 4,1 % y 4,3 % de imbibición/h (tres veces menor que el cariaco), a partir de las 6 h la tasa de imbibición disminuyó drásticamente para todos los materiales, sin embargo, el maíz normal presentó una ligera tasa de imbibición superior al resto de los tratamientos. Se observa que entre las 30 y 36 h la tasa de imbibición fue muy baja estuvo entre -0,6 % y 0,7 % lo cual coincidió con la profusión de la radícula, la cual ya se presentaba entre 62,2 % para maíz dulce y 71,1 % para maíz cotufa. Méndez *et al.* (2008) encontraron que la semilla de maíz presentó la mayor tasa de imbibición las primeras 8 h de la prueba, resultados que no difieren mucho de los reportados en este trabajo.

Basados en estos resultados se aprecia que durante la emergencia de la radícula (germinación), la imbibición se hace muy lenta. Este comportamiento coincide con lo expresado por la Universidad Politécnica de Valencia (2003), al señalar que “en esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse”, luego la absorción de agua se reinicia para el crecimiento de la plántula.

Las correlaciones simples (Tabla 3) confirman las relaciones entre variables, las semillas más pesadas ocupan más volumen ($r = 0,963^*$), son menos densas ($r = -0,469$) y presentaron mayor porcentaje de imbibición ($r = 0,974^*$), lo ilustra el maíz cariaco, presentó el mayor peso de 100 semillas (31,88 g), menor densidad de grano (1,10 g/cm³) y mayor imbibición (82,8 %) a las 18 h. Las semillas con mayor densidad experimentaron menor imbibición a las 18 h ($r = -0,637$). En este caso lo representa el maíz cotufo, con la mayor densidad (1,41 g/cm³) y menor imbibición (24,8 %) a las 18 h. Este maíz tiene endospermo duro, promovido por la alta concentración de amilosa, que hace que los gránulos de almidón queden comprimidos por la matriz proteica, los granos harinosos tienen más amilopectina (Dombrink-Kurtzman y Knutson (1997). Como una descripción más práctica Cuitiño y Cardozo (2018), señalan que en el endospermo del maíz almidonoso los gránulos de almidón son esféricos e irregulares y en los maíces duros (córneos) presentan gránulos de almidón poligonales altamente empaquetados.

Tabla 2. Tasa de imbibición (% de imbibición/h) de cuadro cultivares de maíz con endospermo de diferente textura.

Cultivares de maíz	Tasa de imbibición (% imbibición/h)					
	6-0 (6h)	12-6 (12h)	18-12(18 h)	24-18(24h)	30-24(30h)	36-30(36h)
Cotufero	4,3	-0,4	0,3	1,5	0,9	-0,6
Cariaco	12,5	0,6	0,7	-0,6	2,8	0,1
Normal	4,1	0,8	2,8	0,9	2,7	0,7
Dulce	4,1	0,9	1,9	0,9	0,5	0,1

Tabla 3. Coeficientes de correlación lineal entre pares de variables de semillas de maíz cariaco, dulce, cotufero y normal.

Variables	Peso	Volumen	Densidad	Imbibición 18 h.
Peso	-	0,963*	-0,469	0,974*
Volumen		-	-0,705	0,969*
Densidad			-	-0,637

Peso de 100 semillas (g), volumen (cm³) de 100 semillas, densidad (g/cm³) y porcentaje (%) de imbibición (a las 18 h de la prueba). *correlación significativa (p≤0,05).

CONCLUSIONES

A las 36 h hubo una amplia variación en la capacidad de imbibición de las semillas, cariaco acumuló 96,8 %, normal 71,9 %, dulce 49,4 % y cotufa 35,4 %. A medida que el endospermo era más duro (más denso), la imbibición fue menor.

Independientemente del porcentaje de imbibición de las semillas, a las 36 h de la prueba, la formación de radícula en los materiales varió poco (entre 62,2 % y 72,4 % maíz dulce y normal, respectivamente). Es decir, la aparición de la radícula no está asociada con la cantidad de agua embebida por la semilla, al menos a las 36 h de imbibición.

La tasa de imbibición para todos los cultivares fue mayor en las primeras 6 horas de la prueba, se destacó el maíz cariaco con 12,5% de imbibición/h, el cual tiene el endospermo más suave (menos duro) los demás cultivares presentaron una tasa de imbibición similar (entre 4,1 y 4,3 %).

A partir de las 6 h, la tasa de imbibición disminuyó drásticamente para todos los materiales sin embargo, el maíz normal presentó una tasa de imbibición ligeramente superior al resto de los tratamientos.

REFERENCIAS

- Cuitiño, M. y Cardozo, V. 2018. Maíz: clasificación y usos potenciales. Revista INIA (Uruguay). N° 54: 32-35.
- Cubero, J. 1999. Introducción a la mejora genética vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. España. 365 p.
- Desai, B. 2004. Seed Handbook, Biology, Production, Processing and Storage. 2da ed. Marcel Dekker, INC. USA. pp. 787.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos Tropicales (Cuba) 31 (1): 74-85.
- Dombrink-Kurtzman, M. and Knutson, C. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylase content and susceptibility to damage. (Abstract). Cereal Chemistry.[On line]. En: <http://aaccipublications.aaccnet.org/doi/abs/10.1094/CCHEM.1997.74.6.776?journalCode=cchem> [mayo de 2018].
- López-Santillán, J., Castro-Nava, S., Trejo-López, C., Mendoza-Castillo, M. y Ortiz-Cereceres, J. 2004. Biomasa acumulada e intercambio gaseoso en maíz proveniente de

- semilla de diferente tamaño bajo humedad favorable y restringida. Revista internacional de botánica experimental (ΦYTON): 243-248.
- Méndez, J., Merazo, J. y Montaña, N. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill). Revista UDO Agrícola 8(1):61-66.
- Morales-Santos, M., Peña-Valdivia, C., García-Esteba, A., Aguilar-Benítez, G. y Kohashi-Shibat, J. 2017. Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. Agrociencia 51: 43- 62.
- Oguntunde, A. and Adebawo, O.1989. Water-uptake pattern during traditional soaking of cereal grains. Tropical Science 29 (3): 189-197.
- Pérez de la Cerda, F., Carballo, A., Santacruz, A., Hernández, A. y Molina, C. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. Agricultura Técnica en México 33(1): 53-61.
- Pita, J. y Pérez, F. s/f. Germinación de semillas. Ed. Din Impresores. Madrid. pp. 4-9.
- Rangel-Fajardo, M., Cordova-Tellez, L. y Cárdenas-Soriano, E. 2014. Pérdida de tolerancia a la desecación durante la imbibición-germinación en semillas de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(5): 833-845.
- Sánchez-Pérez, M., Muñoz-Mejía, C., Quiroz-Velásquez, J., Mayek-Pérez, N. y Hernández-Mendoza, J. 2010. Cambios físico-químicos durante la germinación del maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1 (1): 89-93.
- Salisbury, F. y Ross, C. 1992. Fisiología de las plantas. International Thomson Editores. España. Parte 3: 752-755.
- Suárez, D. y Melgarejo, L. 2010. Biología y germinación de semillas. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. [Capítulo en línea]. En: http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/4/03_Cap01.pdf [junio de 2018].
- Universidad Politécnica de Valencia (España). 2003. Germinación de semillas. [Documento en línea]. En: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_17.htm [junio de 2018].
-