

EXTRACCIÓN Y COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS, PROTEÍNAS Y LÍPIDOS DE SEMILLA DE MAÍZ

EXTRACTION AND COMPARISON OF CARBOHYDRATES, PROTEINS AND LIPIDS CONTENT IN CORN SEED

Ramírez-Pimentel J. G., Covarrubias-Prieto J., Chablé-Moreno F., Chávez-Muñoz A., García-Rodríguez J., Aguirre-Mancilla C. L., *Raya-Pérez J. C.

Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Roque. km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, C.P. 38110, Celaya, Gto. México. *autor para correspondencia: juraya@itroque.edu.mx. Recibido 1 de junio de 2015, Aceptado 15 de noviembre de 2015.

Artículo Científico

RESUMEN

Se evaluaron tres genotipos de maíz contrastados por su velocidad de desarrollo y producción. La evaluación se realizó en tres etapas: semilla sin germinar, germinación con presencia de radícula y germinación con presencia de epicótilo. El contenido de lípidos en semilla sin germinar fue diferente para cada uno de los genotipos; más alto en el genotipo intermedio (0.020 g), seguido del genotipo precoz (0.0138 g), mientras que el menor contenido correspondió al genotipo tardío (0.009 g). El genotipo precoz (3.55, 3.35 mg mL⁻¹) e intermedio (3.55, 3.54 mg mL⁻¹) fueron semejantes en el contenido de carbohidratos y en el de proteínas, pero menores al contenido del genotipo tardío (10.55 y 8.21 mg mL⁻¹). La cantidad de lípidos y proteínas extraídas de la semilla germinada con

presencia de radícula fue mayor en el genotipo tardío (0.039 g, 11.523 mg mL⁻¹) con respecto a los genotipos precoz (0.019 g, 3.065 mg mL⁻¹) e intermedio (0.022 g, 3.053 mg mL⁻¹) que mostraron contenidos similares. El contenido de carbohidratos fue semejante en los tres genotipos (2.48, 2.25 y 2.30 mg mL⁻¹). Los lípidos y carbohidratos extraíbles en la etapa de germinación con presencia de epicótilo fueron semejantes en el precoz (0.020 g, 3.17 mg mL⁻¹) y el intermedio (0.025 g, 2.59 mg mL⁻¹), pero con menor contenido al del tardío (0.051 g, 6.12 mg mL⁻¹). El contenido de proteínas extraíbles, en esta misma etapa, fue semejante en los tres genotipos (3.59, 2.96 y 3.54 mg mL⁻¹).

Palabras clave: germinación, movilización de reservas, precóz, tardío, rendimiento.

SUMMARY

Three contrasting maize genotypes were evaluated in three germination stages (ungerminated seeds, germination in the presence of radicle and germination in presence of epicotyl). Proteins, lipids and carbohydrates were extracted from seed of the three genotypes. The lipid content of non-germinated seed was different for each genotype; intermediate genotype content (0.020 g) was greater than the early genotype (0.0138 g) and content of this, greater than the late genotype (0.009 g). The early (3.55, 3.35 mg mL⁻¹) and intermediate genotypes (3.55, 3.54 mg mL⁻¹) were similar in carbohydrate and the protein, but with less content than the late genotype (10.55 y 8.21 mg mL⁻¹). The amount of lipids and proteins extracted from germinated seeds in the presence of radicle was

similar in both, early (0.019 g, 3.065 mg mL⁻¹) and intermediate genotypes (0.022 g, 3.053 mg mL⁻¹), but with less than late genotype (0.039 g, 11.523 mg mL⁻¹). The carbohydrate content was similar in all three genotypes (2.48, 2.25 and 2.30 mg mL⁻¹). The extractable lipids and carbohydrates in the germination stage in presence of epicotyl were similar in the early (0.020 g, 3.17 mg mL⁻¹) and intermediate (0.025 g, 2.59 mg mL⁻¹) genotypes, but with less content than the late one (0.051 g, 6.12 mg mL⁻¹). The content of extractable proteins in the same stage was similar in all three genotypes (3.59, 2.96 and 3.54 mg mL⁻¹).

Keywords: germination, reserve mobilization, early maturity, late maturity, yield.

INTRODUCCION

La germinación de la semilla y el establecimiento de plántula son fases críticas en el ciclo de vida de las plantas y son influenciadas por la cantidad de reservas acumuladas y la eficiencia para usarlas. Las semillas varían en su capacidad para movilizar las reservas. La germinación involucra división, expansión y diferenciación celular; se activan diversas vías metabólicas y de transducción de señales (Bethke *et al.*, 1998; Tnani *et al.*, 2012). Los niveles de azúcar y almidón en la semilla durante la germinación deben estar regulados para asegurar un buen aporte de materiales y energía al embrión y controlar la distribución de agua en los tejidos en expansión (Melo *et al.*, 2009). Se ha reportado que los micronutrientes que escapan de la semilla durante la imbibición son reabsorbidos y su movilización depende de la tasa de crecimiento de la plántula, solubilidad de los mismos y concentración de estos en la solución que rodea a la semilla (Bityutskii *et al.*, 2001; Melo *et al.*, 2009). La presencia de compuestos en la cubierta de la semilla, como los flavonoides, disminuyen la pérdida de solutos, además de ser una barrera contra hongos y tener efecto antimicrobiano (Angelovici *et al.*, 2010).

Las semillas ricas en lípidos tienen, generalmente, altas tasas de movilización de reservas; la degradación de estas ocurre generalmente después de protruir la radícula y son convertidas en almidón o carbohidratos solubles; las proteínas asociadas a los cuerpos lipídicos también son degradadas (Tnani *et al.*, 2012). Además, el catabolismo de los lípidos promueve mayor rendimiento de ATP. Los lípidos neutros que se degradan pueden usarse para la síntesis de lípidos polares, utilizados en la formación de membranas celulares (Melo *et al.*, 2009). Algunas especies de árboles con semillas ricas en aceite, generan plántulas con baja tasa de crecimiento; en cambio, otras especies ricas en carbohidratos, como las Acacias, tienen altas tasas de crecimiento (Soriano *et al.*, 2011). La mayor tasa de germinación correlaciona con las semillas que muestran mayor actividad de la enzima glutamina sintetasa (GS). El tamaño de semilla puede ser uno de los factores que controla la eficiencia de la germinación. Las líneas de maíz con menor tamaño

de semilla tienen mayor eficiencia de germinación (Limami *et al.*, 2002). La temperatura ambiental afecta el tamaño del grano de maíz: altas temperaturas disminuyen el período de llenado de grano y peso individual (Vázquez Carrillo *et al.*, 2012). Las semillas de mayor tamaño producen plántulas más grandes, capaces de emerger a mayor profundidad de siembra y tienen una tasa mayor de crecimiento de la radícula. Las semillas que contienen más nitrógeno les permite, aparentemente, una movilización más rápida de las reservas (Soriano *et al.*, 2011). La síntesis *de novo* de proteasas e hidrolasas de pared celular, es requerida para la protrusión de la radícula (Dogra *et al.*, 2013); otros eventos, como la oxidación de puentes disulfuro de enzimas, ya presentes en la semilla, pueden ser importantes para la regulación metabólica durante la germinación; se han reportado modificaciones postraduccionales en las proteínas durante la germinación, como oxidación, desaminación, acetilación e isoformas truncas (Angelovici *et al.*, 2010; Tnani *et al.*, 2012). En trigo, se han detectado dos proteasas, WAP1 y WAP2, que se expresan en la capa de aleurona y se propone que algunas de las enzimas sintetizadas allí, podrían ser enviadas al endospermo para degradar las proteínas de almacenamiento. También se propone que estarían involucradas en el crecimiento de la radícula y la plántula durante la germinación (Tamura *et al.*, 2007). En un análisis proteómico se encontraron 113 proteínas expresadas de manera diferencial entre semillas no germinadas y germinadas; muchas de ellas están involucradas en el metabolismo de carbohidratos y aminoácidos, señalización ABA/AG y respuesta al estrés (Dogra *et al.*, 2013).

Otros investigadores han observado que las semillas de maíz que tardan más en germinar tienden a producir un mayor número de plántulas anormales. El deterioro de la semilla provoca un retraso en la germinación en diferentes procesos, desde la imbibición y primeros signos de germinación, hasta el estadio de la cuarta hoja (Khajeh-Hosseini *et al.*, 2009). Las que tienen mayor vigor producen plántulas con mayor peso seco y altura, el vigor es afectado por factores como

nutrición de la planta madre, daños mecánicos e infección por patógenos como *Fusarium verticillioides*. La permeabilidad alterada de las membranas celulares y la producción de ácidos grasos libres, impiden la reactivación eficiente del crecimiento del embrión. El envejecimiento natural de las semillas de maíz disminuye progresivamente la capacidad germinativa, la velocidad de crecimiento de la plántula y tolerancia a condiciones adversas (Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2007). La composición de los materiales de reserva de la semilla varían en relación a las condiciones ambientales experimentadas por la planta madre; éstas son capaces de proveer selectivamente de recursos a su descendencia, abortar semillas o producir semillas más pequeñas. El origen del polen también influye sobre el tamaño del embrión, es decir, hay un efecto paterno. La sequía afecta el llenado del grano y su efecto se muestra desde la antesis. El programa epigenético es sensible a influencias ambientales y las modificaciones sufridas a este nivel pueden pasar a través de múltiples generaciones (Diggle *et al.*, 2010; Dolferus

et al., 2011; Soriano *et al.*, 2011). La absorción y pérdida de agua por la semilla son importante para el desarrollo de ésta e influye en el peso final de la misma. Durante la fase de desecación de la semilla se acumulan azúcares como sacarosa, rafinosa, galactinol, trehalosa, intermediarios del ciclo de los ácidos tricarbóxicos, algunos aminoácidos y ácidos grasos libres (Borrás *et al.*, 2003; Harrigan *et al.*, 2007; Angelovici *et al.*, 2010). Tradicionalmente, se han seleccionado materiales precoces para regiones donde la escases de la lluvia demanda plantas de ciclo corto; las de ciclo largo se siembran donde las lluvias son abundantes y duraderas, aunque un mismo productor puede sembrar dos o tres materiales distintos para tener elotes y maíz en diferentes tiempos o asegurar algo de cosecha si el temporal es escaso. En ésta investigación se cuantificó la cantidad de lípidos, carbohidratos y proteínas que se extraen de la semilla de maíz antes de la imbibición, cuando la radícula protruye y en el momento de aparición del epicótilo; se usaron para esto tres genotipos de maíz nativo: un precoz, uno de ciclo intermedio y otro de ciclo tardío.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron materiales contrastantes de maíz en su ciclo reproductivo, en particular, los días para que ocurra la floración masculina: a) Tardío (Celaya, 85 días), b) Intermedio (Cónico-Norteño, 80 días) y c) Precoz (Zacatecas, 65 días). Estos fueron sembrados en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque durante el ciclo primavera-verano 2009. La siembra fue establecida en forma manual a una densidad de 60 mil plantas/ha. Durante el ciclo de cultivo se aplicaron tres riegos, uno de siembra y dos de auxilio por gravedad, con intervalos de 20 días. La precipitación pluvial registrada en el período de estudio fue de 461 mm.

La fórmula de fertilización empleada fue 240-40-00, recomendada por INIFAP en la región, para el cultivo de maíz. La mitad del nitrógeno y todo el fósforo se aplicaron en la siembra y el resto de nitrógeno, 45 días después de la emergencia. En forma adicional, fueron hechas dos aplicaciones foliares de 2.0 L ha⁻¹ de Bioquim (20-20-20), con una bomba aspersora manual. La primera aplicación de microelementos se realizó cuando la planta alcanzó 40 cm de altura y, la segunda, al

tener 60 cm de altura. En los primeros días posteriores a la emergencia se realizó un control manual de arvenses y 45 días posteriores a la emergencia, un control mecánico. Se realizaron tres aplicaciones de herbicidas: 2, 4-D amina (1 L ha⁻¹) en la etapa vegetativa, y Sansón (nicosulfuron) (1 L ha⁻¹), en los estadios reproductivo y maduración de semilla.

Los materiales genéticos fueron evaluados mediante un diseño experimental completamente al azar. La muestra experimental consistió de seis mazorcas por material (precoz, intermedio, y tardío). Los materiales fueron analizados en tres estadios de la germinación de la semilla para determinar la movilización de reservas: sin germinar, germinado con radícula y germinado con radícula más epicótilo.

Para determinar la proporción de estructuras que conforman la cariósida, se remojaron por dos horas en agua destilada a 80°C se separaron físicamente con instrumental de disección,

posteriormente se determinó el peso seco y el porcentaje correspondiente.

Extracción y determinación del contenido de lípidos

50 semillas de cada población fueron germinadas en cajas Petri en cámara de germinación (Lab Companion, Korea) con agua destilada, en la oscuridad a 25 °C. Después de germinadas, las muestras fueron seccionadas de la raíz y la parte aérea para dejar sólo el grano (material húmedo). Se molieron en mortero, se pesaron por duplicado en balanza analítica 10 g para la extracción de lípidos. 10 g de muestra del material seco fueron analizadas para comparación; los lípidos fueron extraídos agregando 40 mL de una mezcla de cloroformo-metanol 2:1 (v/v) agitando durante una hora y una centrifugación por 15 minutos a velocidad de 13,200 x g en microcentrifuga (Eppendorf™); el sobrenadante se recuperó en un tubo puesto previamente a peso constante. El sobrenadante se evaporó a una temperatura de 40 a 45°C en horno de convección (Felisa, México) hasta eliminar la solución de cloroformo-metanol.

Extracción y determinación del contenido de carbohidratos

Las muestras maceradas (material germinado o sin germinar) fueron tratadas con 1 mL de una mezcla etanol:agua 80:20 (v/v) en agitación constante por una hora para extracción. Después de este tiempo se centrifugó durante 15 minutos a 13,200 x g, tomándose el sobrenadante para cuantificar los carbohidratos por duplicado usando fenol-sulfúrico, midiendo la absorbencia a 575 nm en espectrofotómetro (Nanodrop 2000c Thermo Scientific) (Hall *et al.*, 1999).

Extracción y cuantificación de proteínas

El precipitado obtenido de la extracción de carbohidratos fue incubado con 1 mL de Tris-HCl 50 mM, NaCl 500 mM, pH 8, incubado durante 1 h con agitación y se centrifugó a 13,200 x g durante 15 min; la proteína extraída en el sobrenadante se cuantificó, por duplicado, mediante el método de Bradford (1976).

RESULTADOS Y DISCUSION

El genotipo tardío (raza Celaya) presentó el mayor porcentaje de germinación, mayor altura de planta y de mazorca. El genotipo precoz (Zacatecas) presentó la menor germinación, altura de planta y de mazorca. Bajo las mismas condiciones de

manejo, el genotipo tardío es el de mayor productividad, es decir, las poblaciones mantienen rendimientos característicos, de acuerdo al tipo de ambiente en que fueron seleccionados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento y características agronómicas de las poblaciones de maíz evaluadas.

Genotipos	Germinación estándar (%)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso de 1000 semillas (g)	Número de hojas	Altura de mazorca (m)	Altura de planta (m)
Celaya (Tardío)	98	13.6	416.14	12	1.31	2.38
Cónico-Norteño (Intermedio)	79	8.2	359.5	12	0.81	2.00
Zacatecas (Precoz)	74	2.9	188	8	0.53	1.35

En un análisis anatómico se definió la proporción de estructuras presentes en la semilla de los genotipos de maíz, encontrándose que el material precoz presentó la mayor proporción de endospermo,

mientras que el tardío acumuló mayor tejido del embrión. En cuanto al pericarpio, el material intermedio (cónico norteño) mostró el mayor engrosamiento en esta estructura (Cuadro 2).

Cuadro 2. Proporción de estructuras de la semilla de genotipo de maíz (% en peso seco).

Genotipo	Pericarpio	Pedicelo	Embrión	Endospermo
Celaya (Tardío)	4.22	5.49	10.64	79.6
Cónico-Norteño (Intermedio)	4.88	3.9	9.08	76.46
Zacatecas (Precoz)	4.48	4.95	9.4	81.1

El análisis de varianza (Cuadro 3) muestra diferencias altamente significativas para la cantidad de lípidos que se pueden extraer de las semillas

antes de iniciar la germinación; esto indica que al menos un material es diferente a los otros.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para la cuantificación de lípidos, carbohidratos y proteínas en semilla de maíz sin germinar.

FV	GL	Cuadrados Medios ^a		
		Lípidos	Carbohidratos	Proteínas
Tratamiento	2	0.00016706**	100.00724**	46.87904**
Error	15	0.00000562	5.0617	0.07754
CV (%)		16.41	38.73	5.57

a: ** indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad.

La comparación de medias mostró (Cuadro 3) que los tres materiales presentaron diferencias significativas en la cantidad de lípidos extraíbles en esta fase; la cantidad fue mayor en el material intermedio (5.9%), seguido del precoz (8.3%) y al final, el tardío (7.9%). Esto podría explicarse por las diferencias genéticas entre materiales; pero también influyen otros factores, como el medio al que se expone la planta madre. Al parecer, las reservas de carbohidratos se acumulan inicialmente en el llenado de grano, posteriormente baja su tasa de síntesis y aumenta la de lípidos, más o menos al mismo tiempo que la síntesis de proteína, aunque la acumulación de proteína continua cuando ha cesado la acumulación de lípidos, como lo señalan Angelovici *et al.* (2010). Dado que el período de llenado de grano del material intermedio es menor que el del tardío, el gasto de lípidos en la fase final

implicaría una reducción en el contenido de lípidos en el material tardío.; un periodo de tiempo corto como el del precoz, no permite la acumulación observada en los otros materiales. El endospermo almidonoso es el primero en degradarse durante la imbibición; la movilización de los lípidos seguiría a la de carbohidratos, por lo que en esta fase podrían ser más difíciles de extraer del material tardío, ya que cuenta con mayores reservas de almidón (Bethke *et al.*, 1998).

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de varianza para la semilla sin germinar, donde se observa que hubo diferencias altamente significativas para carbohidratos extraíbles; nuevamente esto indica que al menos un material es diferente; el coeficiente de variación es alto, lo cual puede deberse a un muestreo no adecuado o a un tamaño de muestra

pequeño, dada la heterogeneidad de los materiales. En la comparación de medias (Cuadro 3) se encontró que los materiales se ubicaron en dos grupos; el material tardío como el de mayor contenido de carbohidratos y los materiales precoz e intermedio en el otro. Dado que el manejo que se dio a las poblaciones fue el mismo, la estación de crecimiento más larga podría explicar el mayor peso de la semilla y mayor contenido de carbohidratos y

proteínas en el material tardío. El estrés hídrico afecta el proceso de llenado de grano, dado que el tamaño de éste se ve afectado por el estrés y durante el periodo de llenado la sequía causa desecación prematura y acorta el período (Borrás *et al.*, 2003). Resultados semejantes se obtuvieron para la extracción y cuantificación de proteínas, dado que el metabolismo de éstas y carbohidratos está estrechamente relacionado (Uhrig *et al.*, 2009).

Cuadro 4. Comparación de medias de la extracción de lípidos, carbohidratos y proteínas de semilla sin germinar.

Materiales	Lípidos (g) ^a	Carbohidratos (mg)	Proteínas (mg mL ⁻¹)
Precoz	0.013833b	3.352b	3.2217 b
Intermedio	0.020000a	3.553b	3.5450 b
Tardío	0.009500c	10.522a	8.2167 a

^a Materiales con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$)

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para cuantificación de lípidos, carbohidratos y proteínas en semilla germinada con radícula.

FV	GL	Cuadrados Medios		
		Lípidos	Carbohidratos	Proteínas
Tratamiento	2	0.0007387**	0.09055ns	143.2844**
Error	15	0.0000262	0.56924	3.1174
CV (%)		18.95	32.13	30.02

^a: ** indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad; ns indica no significativo

El análisis de varianza de la semilla germinada hasta aparición de radícula (Cuadro 5) detectó diferencias estadísticas altamente significativas para lípidos y proteínas extraíbles, lo que indica que al

menos un material es diferente. El coeficiente de variación para carbohidratos y proteínas resultaron altos, lo cual indica nuevamente que el tamaño de la muestra fue pequeño dada la alta variabilidad de los

materiales evaluados. La comparación de medias (Cuadro 6) mostró dos grupos diferentes en lípidos y proteínas extraíbles, donde los materiales precoz e intermedio fueron los de menor contenido, mientras que el material tardío tuvo la mayor cantidad. No hubo diferencias significativas para carbohidratos. De acuerdo con Angelovici *et al.* (2010) y Tnani *et al.* (2012), la degradación de

proteínas de reserva y síntesis de nuevas proteínas es necesaria para la protrusión de la radícula. Lo anterior podría facilitar una mejor extracción de proteínas del material tardío en esta fase. En concordancia con lo señalado, Melo *et al.* (2009) mencionan que la degradación de lípidos de reserva es necesaria para la síntesis de lípidos de membranas de tejidos en crecimiento y expansión.

Cuadro 6. Comparación de medias de la extracción de lípidos, carbohidratos y proteínas de semilla germinada con radícula.

Materiales	Lípidos	Carbohidratos	Proteínas
	(g) ^a	(mg mL ⁻¹)	(mg mL ⁻¹)
Precoz	0.01900 b	2.48 a	3.065 b
Intermedio	0.02233 b	2.25 a	3.053 b
Tardío	0.03967 a	2.30 a	11.523 a

^a Materiales con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$)

La movilización de lípidos desde los cuerpos lipídicos permite la mayor extracción al protruir la radícula. Esto implica mayor movilización de los mismos a fin de reconvertirlos en carbohidratos para suplir de energía al embrión y sintetizar lípidos polares para las necesidades de la plántula en crecimiento (Melo *et al.*, 2009). Esto permite la mayor tasa de crecimiento de la plántula, de

acuerdo con lo reportado por otros autores. Un mayor contenido de nitrógeno en las reservas de la semilla, en forma de proteínas, permite la movilización rápida de las mismas; es posible que variaciones pequeñas tuvieran un efecto aditivo y detectable, como lo mencionan Soriano *et al.* (2011).

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para la cuantificación de lípidos, carbohidratos y proteínas en semilla germinada con radícula y epicótilo.

FV	GL	Cuadrados Medios		
		Lípidos	Carbohidratos	Proteínas
Tratamiento	2	0.001634**	21.3862**	0.7452ns
Error	15	0.000035	1.4875	0.47964
CV (%)		18.37	30.78	20.57

^a: ** indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad; ns indica no significativo.

El análisis de varianza (Cuadro 7) mostró diferencias altamente significativas para la cantidad de carbohidratos y lípidos que se extraen de la semilla germinada con presencia de epicótilo,

indicativo de que al menos alguno de los materiales es diferente y se detectará en la comparación de medias. El análisis no detectó diferencias significativas para proteínas.

Tabla 8. Comparación de medias de la extracción de lípidos, carbohidratos y proteínas de semilla germinada con radícula y epicótilo.

Materiales	Carbohidratos (mg mL ⁻¹) ^a	Lípidos (g)	Proteína (mg mL ⁻¹)
Precoz	3.1733 b	0.02083 b	3.59 a
Intermedio	2.5967 b	0.02517 b	2.96 a
Tardío	6.1167 a	0.05133 a	3.54 a

^a Materiales con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p < 0.05$)

En cuanto a la cantidad de lípidos y carbohidratos extraíbles, en la comparación de medias (Cuadro 8) se formaron dos grupos: los materiales precoz e intermedio en un grupo y al material tardío en el otro. Cuando ha aparecido el epicótilo, se extraen más lípidos del material tardío que de las otras dos poblaciones, al igual que con carbohidratos; no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la cantidad de proteínas que se extraen. Aun cuando los porcentajes de germinación son iguales en los materiales intermedio y tardío, la movilización más eficiente de reservas del segundo le podría conferir ciertas ventajas durante el establecimiento de las plántulas. Las plántulas de semillas de mayor tamaño pueden emerger de mayor profundidad y tener tasas mayores de crecimiento de la radícula.

Las semillas de *Goodenia fascicularis* provenientes de plantas cultivadas con baja humedad tienen menor latencia y las plantas acumulan menos biomasa y producen menos semilla. Las cultivadas en ambiente cálido aceleran la fase reproductiva y producen más semilla, mientras que las de ambiente fresco acumulan más biomasa pero producen menos semilla; esta semilla es más grande y tiene mayor viabilidad (Hoyle *et al.*, 2008). Sin embargo, Biasutti y Galiñanes (2001) no encontraron diferencias significativas en estado de plántula entre maíces seleccionados para estrés

hídrico y sus progenitores; opinan que una característica que influya la supervivencia bajo estrés hídrico en el desarrollo temprano, puede resultar no importante en el desarrollo posterior. En especies silvestres (*Dipsacum fullonum*) se ha encontrado que la adaptación a algún tipo de estrés, como bajo potencial osmótico, confiere más ventajas que el tamaño de la semilla bajo condiciones de sequía severa y no encontraron que una familia se pudiera adaptar a más de un estrés a la vez (Beaton y Dudley, 2010). En la producción de semilla a nivel comercial, las variedades nativas de maíz no son consideradas en los programas de mejoramiento, por su impacto negativo en el rendimiento y la calidad del grano (Dolferus *et al.*, 2011). Luna Flores y colaboradores (2005) encontraron que las variedades de maíz con los rendimientos medios más altos fueron los más tardíos, aunque una precoz mostró alto rendimiento, lo cual abre la posibilidad de lograr un rendimiento aceptable con temporal deficiente o bueno; en siembras tardías tiene menor riesgo de sufrir daño por heladas tempranas. Todo esto señala la necesidad de realizar más investigación sobre la producción de semilla bajo condiciones no favorables, la caracterización de los maíces nativos y su uso potencial en los programas de mejoramiento.

CONCLUSIONES

En semilla sin germinar, el contenido de lípidos extraídos fue mayor en el material intermedio y la cantidad de proteínas y carbohidratos extraíbles fue mayor en el Celaya.

Durante la emergencia de la radícula se pudieron extraer más lípidos y proteínas del tardío.

Con la aparición del epicótilo se extrajeron más lípidos y carbohidratos del material tardío.

El genotipo tardío fue el de mayor rendimiento y el de mayor peso de mil semillas y presenta un alto porcentaje de germinación con una movilización eficiente de las reservas.

La adaptación a mejores condiciones de cultivo le confiere ventajas bajo las mismas condiciones a esta población.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG) por el apoyo de los proyectos 09-11-K119-044 y 09-11-K662-095.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angelovici R; Galili G; Fernie AR; Fait A (2010). Seed desiccation: a bridge between maturation and germination. *Trends Plant Science* 15: 211-218.
- Beaton L; Dudley SA (2010). Maternal effects and drought tolerance determine seedling establishment success in a common roadside plant, *Dipsacus fullonum* subsp *sylvestris*. *Botany* 88: 930-936.
- Bethke PC; Swanson SJ; Hillmer S; Jones RL (1998). From storage compartment to lytic organelle: the metamorphosis of the aleurone protein storage vacuole. *Ann Bot* 82: 399-412.
- Biasutti C A; Galiñanes VA (2001). Influence of selection environment on the germination of maize (*Zea mays* L.) seeds under drought stress. Relationships between seedling characters and yield. *Agriscientia XVIII*: 37-44
- Bityutskii N; Magnitski S; Lapshina I; Lukina E; Soloviova A; Patsevich V. (2001) Distribution of micronutrients in maize grain and their mobilization during germination. *Plant Nutrit Food Security Sustainability Agroecosystems* 218-219.
- Borrás L; Westgate ME; Otegui ME (2003). Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Ann. Bot.* 91: 857-867.
- Bradford M M (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248-252.
- Diggle P K; Abrahamson NJ; Baker RL; Barnes MG; Koontz TL; Lay CR; Medeiros JS; Murgel JL; Shaner MGM; Simpson HL; Wu CC; Marshall DL (2010). Dynamics of maternal and paternal effects on embryo and seed development in wild radish (*Raphanus sativus*). *Annals of Botany.* 106: 309-319.
- Dogra V; Singh Ahuja P; Sreenivasulu Y (2013). Change in protein content during seed germination of a high altitude plant *Podophyllum hexandrum* Royle. *Journal Proteomics* 78:28-38.
- Dolferus R; Ji X; Richards RA (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science* 181: 331-341.
- Goncalves N; Vioque J; Clemente A; Sánchez-Vioque R; Bautista J; Millan F (1997). Obtención y caracterización de aislados proteicos de colza. *Grasas y Aceites* 48: 282-289.
- Gutiérrez Hernández G F; Virgen Vargas J; Arellano Vázquez JL (2007). Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *Agronomía Mesoamericana* 18: 163-170.
- Hall MB; Hoover WH; Jennings JP; Miller-Webster TK (1999). A method for partition neutral detergent soluble carbohydrates. *Journal of Food Science and Agriculture* 79: 2079-2086.
- Harrigan GG; Stark LG; Riordan SG; Reynolds TL; Ridley WP; Masucci JD; McIsaac S; Halls SC; Riley R; McFarland D; Pandravada A; Glenn KC (2007). Impact of genetics and environment of nutritional and metabolite components of maize grain. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 55: 6177-6185.
- Hoyle GL; Steadman KJ; Daws MI; Adkins SW (2008). Pre- and postharvest influences on seed dormancy status of an Australian goodeniaceae species, *Goodenia fascicularis*. *Annals of Botany.* 102: 93-101.
- Khajeh-Hosseini M; Lomholt A; Matthews S (2009). Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots the maize (*Zea mays* L.) *Seed Science & Technology* 37: 446-456.
- Limami AM; Rouillon C; Glevarec G; Gallais A; Hirel B (2002). Genetic and physiological analysis of germination efficiency in maize in relation to nitrogen metabolism reveals the importance of cytosolic glutamine synthetase. *Plant Physiology* 130: 1860-1870.
- Luna-Flores M; Gutiérrez Sánchez JR; Peña-Ramos A; Echavarría-Chairez FG; Martínez-Gómez J (2005). comportamiento de variedades precoces de maíz en la región semiárida y árida del Centro-Norte de México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 28(1):39-45.

- Melo ZL; de O JF; de C Goncalves P; Mazzafera D; Dossantos AC (2009). Mobilization of seed reserves during germination of four tropical species of the amazon rain forest. *Seed Science & Technology*. 37: 597-607.
- Soriano D; Orozco-Segovia A; Márquez-Guzman J; Kitajima K; Gamboa de Buen A; Huante P (2011). Seed reserve composition in 19 tree species of a tropical deciduous forest in México and its relationship to seed germination and seedling growth. *Annals of Botany* 107: 939-951.
- Tamura T; Terauchi K; Kiyosaki T; Asakura T; Funaki J; Matsumoto I; Misaka T; Abe K (2007). Differential expression of wheat aspartic proteinases, WPA1 and WAP2, in germinating and maturing seeds. *Journal of Plant Physiology* 164: 470-477.
- Tnani H; López I; Jouenne T; Vicient CM (2012). Quantitative subproteomic analysis of germinating related changes in the scutellum oil bodies of *Zea mays*. *Plant Science* 191-192: 1-7.
- Uhrig RG; Kenneth KS Ng; Moorhead GBG (2009). PII in higher plants: a modern role for an ancient protein. *Trends in Plant Science* 14: 505-512.
- Vázquez-Carrillo Ma; Santiago Ramos GD; Salinas Moreno Y; Rosas Martínez I; Arellano-Vázquez JL; Velázquez-Cardelas GA; Espinoza-Calderón A (2012). Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en valles altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 229-37.