



INTERACCIÓN E INTERDEPENDENCIA DE ECOTIPOS DE JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L.) CON PRUEBAS DE CALIDAD DE SEMILLA

INTERACTION AND INTERDEPENDENCE OF YAM BEAN (*Pachyrhizus erosus* L.) ECOTYPES WITH SEED QUALITY TESTS

Leticia Rodríguez-Zarate¹, Alfredo Josué Gámez-Vázquez², Francisco Cervantes-Ortiz^{1*}, Gilberto Rodríguez-Pérez³, José Antonio Rangel-Lucio⁴, J. Guadalupe García-Rodríguez¹ y Enrique Andrio-Enríquez⁵

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Roque, Celaya, Guanajuato, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México. ³Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui, Bâcum, Sonora, México. ⁴Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ⁵Tecnológico Nacional de México, Campus Cuenca del Papaloapan, Tuxtepec, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia (francisco.co@roque.tecnm.mx)

RESUMEN

En México no existen metodologías estandarizadas para evaluar la calidad fisiológica de la semilla de jícama, por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la respuesta fisiológica de semilla de ecotipos de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.) (amarilla, morada y negra) usando diferentes pruebas de calidad de semilla. Se evaluó la prueba germinación (Ge), el vigor a través de la conductividad eléctrica (CE), envejecimiento acelerado (EA), prueba de remojo (Soak Test-ST), vigor inicial de plántula en cama de arena (CA) y emergencia en campo (EMC). En relación con las pruebas de laboratorio, en Ge se usaron tres temperaturas (20, 25 y 30 °C); en CE se varió el tiempo de exposición en agua (24 y 48 h) y la temperatura (25 y 30 °C); en EA se varió la temperatura (42 y 45 °C) y tiempo de exposición al estrés (24, 48, 72 y 96 h) y en ST se combinó tiempo de exposición en agua (24 y 48 h) y temperatura (25 y 30 °C). Se realizó análisis multivariado de interacción de los tres ecotipos y sus ambientes o pruebas de evaluación. Los resultados mostraron que las pruebas bajo algunas condiciones pueden discriminar el comportamiento entre los ecotipos; en este sentido, la variedad de semilla amarilla presentó la mejor respuesta en todas las pruebas. La variedad de semilla morada presentó vigor medio y la de semilla negra presentó bajo vigor en todas las pruebas, de acuerdo con el análisis de interacción. Cuando se observen diferencias genéticas entre lotes de semilla se recomienda realizar la prueba de Ge a 25 °C, para vigor a través de EA se debe combinar 45 °C durante 24 h; para ST se recomiendan 48 h de remojo y 25 °C y para CE, 72 h de remojo en agua desionizada a 30 °C proporciona los mejores resultados.

Palabras Clave: *Pachyrhizus erosus*, calidad de semilla, conductividad eléctrica, envejecimiento acelerado, prueba de remojo.

SUMMARY

In Mexico, there are no standardized methodologies to evaluate the physiological quality of yam bean seed; thus, the objective of this research was to determine the physiological response of yam bean (*Pachyrhizus erosus* L.) ecotypes seed (yellow, purple and black) using different seed quality tests. Germination test (Ge), vigor through electrical conductivity (EC), accelerated ageing (AA), soak test (ST), initial vigor of seedling in sand bed (SB) and emergence in field (FEM) were evaluated. Regarding the laboratory tests, in Ge, three temperatures (20, 25 and 30 °C) were used; in EC, the exposure time in water (24 and 48 h) and temperature (25 and 30 °C) were varied; in EA,

temperature (42 and 45 °C) and stress exposure time (24, 48, 72 and 96 h) were varied, and in ST, the exposure time in water (24 and 48 h) and temperature (25 and 30 °C) were combined. Multivariate interaction analysis of the three ecotypes and their evaluation tests or environments was performed. Results showed that the tests under some conditions can discriminate the performance between the ecotypes; in this sense, the yellow seed variety showed the best response in all tests. The purple seed variety showed medium vigor and the black seed showed low vigor in all tests, according to the interaction analysis. When observing genetic differences between seed lots it is recommended to carry out the Ge test at 25 °C; for vigor through EA, 45 °C should be combined with a time of 24 h; for ST 48 h soaking and 25 °C are recommended, and for EC 72 h soaking in deionised water at 30 °C provides the best results.

Index words: *Pachyrhizus erosus*, accelerated ageing, electrical conductivity, seed quality, soak test.

INTRODUCCIÓN

La jícama (*Pachyrhizus erosus* L.) es una leguminosa con centro de origen en México y Centroamérica, y durante siglos, distribuida como cultivo en todo el mundo (Santoso *et al.*, 2021). Se conocen cinco especies de jícama: *P. erosus*, *P. tuberosus*, *P. ahipa*, *P. panamensis* y *P. ferrugineus*, las tres primeras son cultivadas y las últimas dos silvestres (Sørensen *et al.*, 1996). En comparación con otros cultivos como la papa (*Solanum tuberosum* L.), la jícama contiene baja cantidad de proteínas (Noman *et al.*, 2007); sin embargo, posee ocho de los aminoácidos esenciales en la dieta humana e inulina (Buckman *et al.*, 2017); además, se ha reportado que el consumo de extracto de jícama regula la glucosa hepática (Park *et al.*, 2015). Adicionalmente, la semilla contiene compuestos carotenoides que pueden ser utilizados para la elaboración de bioinsecticidas (Fernández-Andrés *et al.*, 2008; Rangel-Lucio *et al.*, 2011), así como aceites para la elaboración de biodiesel (Knothe *et al.*, 2018).

De acuerdo con la FAO (2022), en 2022 se sembraron en el mundo aproximadamente 709,508 ha destinadas a la producción de raíces y tubérculos, estimando una producción de 8,877,780 t. Del total de hectáreas producidas, Asia contribuyó con 63.4 %, América con 11.1 % y el resto del mundo con 25.5 %.

En México se siembran anualmente alrededor de siete mil hectáreas de jícama, principalmente en Jalisco, Veracruz, Oaxaca y Chiapas (SIAP, 2024). En lo que se refiere al origen de la semilla, no existe información que se acredite como certificada por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas (SNICS), organismo encargado de verificar y certificar el origen y calidad de las semillas en México, ya que no existen variedades registradas en el catálogo Nacional de Variedades Vegetales del SNICS.

La calidad de semilla es uno de los factores más importantes, debido a que afecta directamente el rendimiento (Munamava *et al.*, 2004). En este sentido, una semilla de calidad es aquella que presenta los cuatro atributos: pureza física, pureza genética, buen desempeño fisiológico y libre de patógenos, factores que influyen directamente en el vigor de la semilla (ISTA, 2015). Entre los criterios de calidad, el porcentaje de germinación es uno de los parámetros más importantes, ya que es utilizado como criterio para la certificación y comercialización de semillas (Martínez *et al.*, 2010).

Las pruebas de vigor se clasifican en pruebas físicas, fisiológicas y bioquímicas. Una de estas pruebas es la de conductividad eléctrica (CE), la cual consiste en la evaluación indirecta del estado de organización de las membranas celulares, mediante la determinación de la cantidad de lixiviados liberados por las semillas en la solución de remojo (Vieira *et al.*, 2002). El envejecimiento acelerado (EA) como otra prueba de vigor, implica el uso de agua en una cámara interna y externa de envejecimiento, variando el tiempo de exposición y la temperatura en función de la especie (Jianhua y McDonald, 1997). La prueba de remojo (Soak est-ST) es una prueba donde la semilla es embebida en agua y se evalúa la tolerancia o resistencia de la semilla en suelos con problemas de drenaje y la prueba de viabilidad por tetrazolio (VT) evalúa la viabilidad de la semilla a partir de la tinción de los cotiledones y del embrión, en un periodo corto de tiempo (McDonald, 1980).

La norma para realizar las pruebas de calidad de semillas la establece la International Seed Testing Association (ISTA, 2015), organismo internacional que estandariza los métodos de análisis de semillas para los diferentes

cultivos, y que en México lo realiza el SNICS. En México no existe metodología estandarizada para evaluar la germinación, vigor, viabilidad, y en general, la calidad de semilla de jícama; por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar la respuesta fisiológica de semilla de ecotipos de jícama usando diferentes pruebas de calidad de semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en el Tecnológico Nacional de México, Campus Roque (TecNM-Roque), en Celaya, Guanajuato, México (20° 34' 41.1" N, 100° 49' 31.7" O y una altitud de 1765 msnm). En esta región predomina el clima semicálido, con precipitación media anual entre 400 y 700 mm (FGP, 2024).

Material genético

Se utilizaron tres ecotipos de jícama: semilla amarilla, semilla negra y semilla morada, colectados en la localidad de San Juan de la Vega, Celaya, Guanajuato, México. Los ecotipos se incrementaron en el ciclo Primavera-Verano 2021 para disponer de semilla del mismo origen y producidas bajo las mismas condiciones. De cada ecotipo se tomó una muestra aleatoria de semilla para realizar cada una de las pruebas de calidad de semilla. El experimento se desarrolló en condiciones de laboratorio, vivero y campo.

Prueba de germinación (GE)

Los ecotipos se evaluaron en tres temperaturas de incubación para la germinación: 20 (GE1), 25 (GE2) y 30 °C (GE3), lo que generó un experimento factorial 3 × 3, establecidos en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental se constituyó de 50 semillas, mismas que fueron distribuidas en papel germinación (Anchor Paper Company, St. Paul, Minnesota, EUA) previamente humedecido. Se formaron rollos o "tacos" de papel y se colocaron en bolsas de polietileno transparente previamente etiquetadas, las cuales se mantuvieron en una cámara de germinación (Modelo TC-16, Conviron, Winnipeg, Manitoba, Canadá) 16/8 h luz/oscuridad; se consideró como guía la prueba de germinación estándar en *Pisum sativum* propuesta por la ISTA (2015). Se hicieron dos conteos, a los 9 y 16 días después de establecida la prueba. Estos conteos se establecieron considerando observaciones en ensayos previos y observaciones de la emergencia en campo.

Vigor a través de la prueba de envejecimiento acelerado (EA)

La prueba se realizó en vasos de cristal con 40 mL de agua destilada. Las semillas se depositaron sobre una tela metálica suspendida dentro del vaso, cada vaso se selló con papel aluminio y éstos se introdujeron en una estufa (Marca Felisa®, Feligneo, Zapopan, Jalisco, México). Se evaluaron las semillas de los tres ecotipos de jícama en dos temperaturas de envejecimiento (42 y 45 °C) y tres periodos de exposición (24, 48 y 72 h). Transcurrido el tiempo de exposición al envejecimiento, las semillas se sometieron a una prueba de germinación de acuerdo con la metodología del análisis de Ge previamente descrito, empleando dos temperaturas de germinación (25 y 30 °C). La combinación de factores y niveles de estudio $3 \times 2 \times 3 \times 2$ generó 36 tratamientos, mismos que fueron evaluados bajo un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental fue de 50 semillas.

Prueba de remojo o soak test (ST)

Las semillas fueron embebidas en 1 L de agua destilada durante dos periodos (24 y 48 h) a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo de remojo se realizó una prueba de Ge a temperaturas de 25 y 30 °C. Los factores fueron: ecotipos (semilla amarilla, semilla morada y semilla negra), periodo de imbibición (24 y 48 h) y temperatura de germinación (25 y 30 °C), generando 12 tratamientos que fueron evaluados en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental fue de 50 semillas.

Conductividad eléctrica (CE)

Para esta prueba se colocaron las semillas de los tres ecotipos de jícama en vasos de cristal que contenían 100 mL de agua desionizada, durante periodos de inmersión de 24, 48, 72 y 96 h, en dos temperaturas (25 y 30 °C). Después de cada período se realizaron lecturas con un medidor de conductividad eléctrica (Modelo H18733, Hanna Instruments, Smithfield, Rhode Island, EUA) y los resultados se expresaron en $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$. La combinación de estos factores generó 24 tratamientos que fueron evaluados en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue un vaso con 50 semillas.

Vigor inicial de plántula en cama de arena

La prueba se realizó en condiciones de vivero usando arena como sustrato. Se usó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos (ecotipos de

jícama) y cinco repeticiones. La unidad experimental fue de 50 semillas. Se evaluó el porcentaje de emergencia (PE) y velocidad de emergencia (VE). Con base en una muestra de 10 plántulas con competencia completa por unidad experimental, se midió el peso fresco (PFP, g) y seco de vástago (PSP, g), peso fresco de raíz (PFR, g), altura de plántula (LP, cm) y longitud de radícula (LR, cm). Se calculó el índice de vigor I (IV-I) como el producto de PE y LP, así como índice de vigor II (IV-II), resultante de multiplicar PSP por PE (Kharb *et al.*, 1994).

Se realizaron conteos diarios de plántulas emergidas a partir de que se observó la primera plántula en emergencia y el último conteo el día 24 después de la siembra. La velocidad de emergencia (VE) se determinó de acuerdo con la fórmula de Copeland y McDonald (1995).

$$V.E. = \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del primer conteo}} + \dots + \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del conteo final}}$$

El porcentaje de emergencia (PE) se calculó dividiendo el número total de plántulas emergidas entre el número de semillas sembradas multiplicado por 100.

$$\% \text{ de emergencia} = \left(\frac{\text{plántulas emergidas}}{\text{semillas sembradas}} \right) \times 100$$

Emergencia en campo

Se prepararon surcos de 60 m de longitud y 0.75 m de separación, donde se establecieron los tres ecotipos de jícama a una profundidad de 5 cm y separación de 20 cm entre semillas en el campo experimental del TecNM-Roque. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental se conformó por cuatro surcos de 10 m de longitud para cada repetición. Se evaluó el porcentaje de emergencia (PEC). Los conteos se realizaron a partir del día 12 después de la siembra (DDS), finalizando a los 21 DDS.

En el Cuadro 1 se hace una descripción detallada de los diferentes factores y niveles de variación involucrados en cada una de las pruebas de evaluación aplicadas.

Análisis estadístico

Se aplicaron análisis multivariados, como el análisis por factores, con la finalidad de mostrar la interdependencia entre las pruebas de germinación y vigor, análisis de componentes principales para determinar la variabilidad debida a las pruebas realizadas, con el fin de definir su importancia y con base en ellas identificar la dispersión de los ecotipos de jícama en un sistema cartesiano. Ambos tipos de análisis se realizaron utilizando el programa

estadístico SAS, ver. 9.4 (SAS Institute, 2016); además, se determinó la interacción genotipo-pruebas de calidad y la estabilidad de ecotipos con el modelo SREG versión 4.1 (Pacheco-Gil *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis por factores

En el análisis por factores se presentan las pruebas de germinación (Ge) y de vigor para los tres ecotipos (Figura 1). En el Cuadrante I (CI) se posicionaron las pruebas de GE con alta interdependencia, EA1 y ST con un patrón de respuesta similar entre sí, las variables de vigor (VE, IVI, IVII, PFP y

PSP) y porcentaje de emergencia en campo (PEC), mientras que en el Cuadrante II (CII) se localizaron EA2 y PFR, con un ángulo reducido entre sus vectores, por lo que ofrecen respuestas similares; en el Cuadrante III (CIII) se ubicó la prueba de CE y finalmente, en el Cuadrante IV (CIV) el EA4.

Los resultados de la prueba de GE se ubicaron en el CI, mostrando dispersión, lo que es indicativo de que existen diferencias entre las variedades; en este sentido, entre más cercano se ubique al punto de origen, indica que los resultados son similares entre los ecotipos, por lo que si se desea utilizar una sola temperatura para realizar una prueba de germinación, lo ideal sería utilizar una temperatura superior o igual a 25 °C, pero

Cuadro 1. Descripción de las pruebas de calidad de semilla aplicadas en este estudio.

Nomenclatura	Condiciones de tratamiento
GE1	Germinación a los 20 °C
GE2	Germinación a los 25 °C
GE3	Germinación a los 30 °C
ST1	24 h de imbibición, 25 °C para prueba de GE
ST2	24 h de imbibición, 30 °C para prueba de GE
ST3	48 h de imbibición, 25 °C para prueba de GE
ST4	48 h de imbibición, 30 °C para prueba de GE
CE1	24 h de imbibición a 25 °C
CE2	48 h de imbibición a 25 °C
CE3	72 h de imbibición a 25 °C
CE4	96 h de imbibición a 25 °C
CE5	24 h de imbibición a 30 °C
CE6	48 h de imbibición a 30 °C
CE7	72 h de imbibición a 30 °C
CE8	96 h de imbibición a 30 °C
EA1	24 h de estrés a 42 °C, 25 °C para prueba de GE
EA2	24 h de estrés a 42 °C, 30 °C para prueba de GE
EA3	48 h de estrés a 42 °C, 25 °C para prueba de GE
EA4	48 h de estrés a 42 °C, 30 °C para prueba de GE
EA5	72 h de estrés a 42 °C, 25 °C para prueba de GE
EA6	72 h de estrés a 42 °C, 30 °C para prueba de GE
EA7	24 h de estrés a 45 °C, 25 °C para prueba de GE
EA8	48 h de estrés a 45 °C, 25 °C para prueba de GE
EA9	72 h de estrés a 45 °C, 25 °C para prueba de GE

GE: germinación, ST: soak test o remojo, CE: conductividad eléctrica, EA: envejecimiento acelerado, h: horas; °C: grados Celsius.

no mayor de 30 °C (GE3). Al respecto, Caroca *et al.* (2016) reportaron que en semilla de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.), la germinación se incrementó al pasar de 16 a 32 °C; sin embargo, en algunas líneas el mayor porcentaje de germinación se obtuvo a los 30 °C, lo anterior es consistente con los resultados obtenidos en la prueba de germinación en este estudio. Por otro lado, en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se ha reportado mayor sensibilidad a temperaturas de germinación mayores de 30 °C, aunque existe diferencia entre genotipos (Maqueira-López *et al.*, 2021), como se observó también en jícama en esta investigación.

El vigor de semilla evaluado a través de la prueba de EA se agrupó en un patrón de respuesta similar, ubicadas principalmente en el CI con un ángulo inferior a los 90°, por lo que se puede considerar que en esta prueba las variaciones fueron interdependientes entre ellas, lo que indica que al cambiar las variables (periodo de exposición y temperatura) el vigor de la semilla se ve afectado; de esta manera, también se puede observar la relación de EA con otras pruebas (Figura 1). La prueba EA2 y EA4 se diferenciaron del resto de las demás pruebas de EA, ya que se ubicaron en el CII y CIV, respectivamente. El EA4 se encuentra cerca del eje de las abscisas, de modo que es la variable de menor valor para los tres genotipos. Por otro lado, al comparar EA4 con EA7 se observa que EA7 está en el CI, indicando mejores resultados. La temperatura utilizada para la prueba de GE después de someter la semilla a estrés juega un papel importante en la distinción de lotes de semillas; este efecto se puede observar entre tratamientos donde solo se cambia la temperatura de Ge; por ejemplo, EA4 (42 °C de exposición por 48 h, con 30 °C para prueba de Ge), EA3 (42 °C de exposición por 48 h, con 25 °C para prueba de Ge), fueron posicionados en cuadrantes distintos. La prueba EA1 (42°C de exposición por 24 h, 25 °C para prueba de Ge) es la más estable entre los ecotipos. En este sentido, se puede decir que para diferenciar el vigor entre ecotipos de jícama, las pruebas EA7 y EA5 serían ideales, ya que se localizan cerca de las coordenadas de variables de importancia como IV-II, VE e IV-I con EA7 y para EA5 las variables EMC y PE, de tal manera que una prueba de EA realizada bajo las condiciones de EA5 (42 °C de exposición por 72 h) podría predecir la emergencia en campo, ya que generalmente una prueba de Ge en un lote de semillas no da una estimación real de emergencia en campo; por ello, el uso de otras pruebas como EA sería confiable para evaluar la calidad de semilla y diferenciar el vigor entre distintos lotes. En garbanzo (*Cicer arietinum* L.) existe correlación ($r = 0.70$) entre las variables de emergencia en campo y el vigor de semilla a través de la prueba de envejecimiento acelerado (EA), con 48 h de estrés (Vanderléia y Coelho, 2020). Los resultados anteriores respaldan la respuesta

encontrada con las pruebas de EA y variables EMC y PE.

Los tratamientos de CE se posicionaron en el CIII, CE8 (96 h de inmersión a 30 °C) fue el más cercano al eje de las abscisas, y por lo tanto, cercano al CII, esto indica que fue el tratamiento con los valores más altos. Las pruebas CE8 (96 h a 30 °C), CE7 (72 h a 30 °C) y CE1 (24 h a 25 °C) son tratamientos que podrían ser útiles para evaluar vigor entre lotes de semilla de jícama; de este modo, a las 24 h se obtienen diferencias entre ecotipos, de las 48 a 72 h los resultados son similares entre sí, y después de las 72 h, los resultados con respecto al tratamiento CE1 son diferentes, de modo que con estos tratamientos se podrían evaluar lotes de semillas y clasificar como de bajo, medio y alto vigor, o en su caso, eventualmente llegar a estimar la germinación.

La prueba de CE mide la cantidad de iones lixiviados en una solución. Estos lixiviados se relacionan con la integridad de la membrana celular de la semilla; de este modo, una membrana dañada genera mayor cantidad de lixiviados; por lo tanto, se infiere que se trata de semillas deterioradas y de bajo vigor; por ello, la germinación y el vigor correlacionan negativamente con la CE (Gayathri *et al.*, 2024).

Sería conveniente realizar mediciones en periodos dentro de las 24 h, ya que en leguminosas se han obtenido resultados útiles antes de las 24 h; al respecto, Ermis (2022) construyó modelos de regresión para CE con respecto al porcentaje de germinación en frijol para predecir la germinación. Este autor realizó mediciones a las 2, 4, 6 y 8 h a 20 °C y concluyó que 2 y 8 h de remojo fueron apropiadas para la estimación de la germinación de las semillas y la diferenciación entre lotes; por su parte, Biradarpatil *et al.* (2023) en semilla de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.) construyeron modelos de regresión y correlación entre pruebas de vigor de semillas en laboratorio y el desempeño en campo. Los resultados mostraron que la conductividad eléctrica correlacionó negativamente ($r \geq -0.85$) con la emergencia, la velocidad de emergencia, la población de plantas y el rendimiento de vainas. Del mismo modo, Araméndiz-Tatis *et al.* (2017) evaluaron el potencial fisiológico de semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.) a través de la prueba de CE, considerando cantidad de semilla, temperatura y periodos de exposición, y reportaron diferencias entre periodos de exposición y cantidad de semilla.

Por último, se puede concluir que en el AF (análisis por factores) el primer factor subyacente (FS) explica el 70 % y el segundo el 18 %, de tal forma que se explica el 88 % de la varianza total en este biplot en la evaluación de los tres ecotipos de jícama para las pruebas de vigor y germinación.

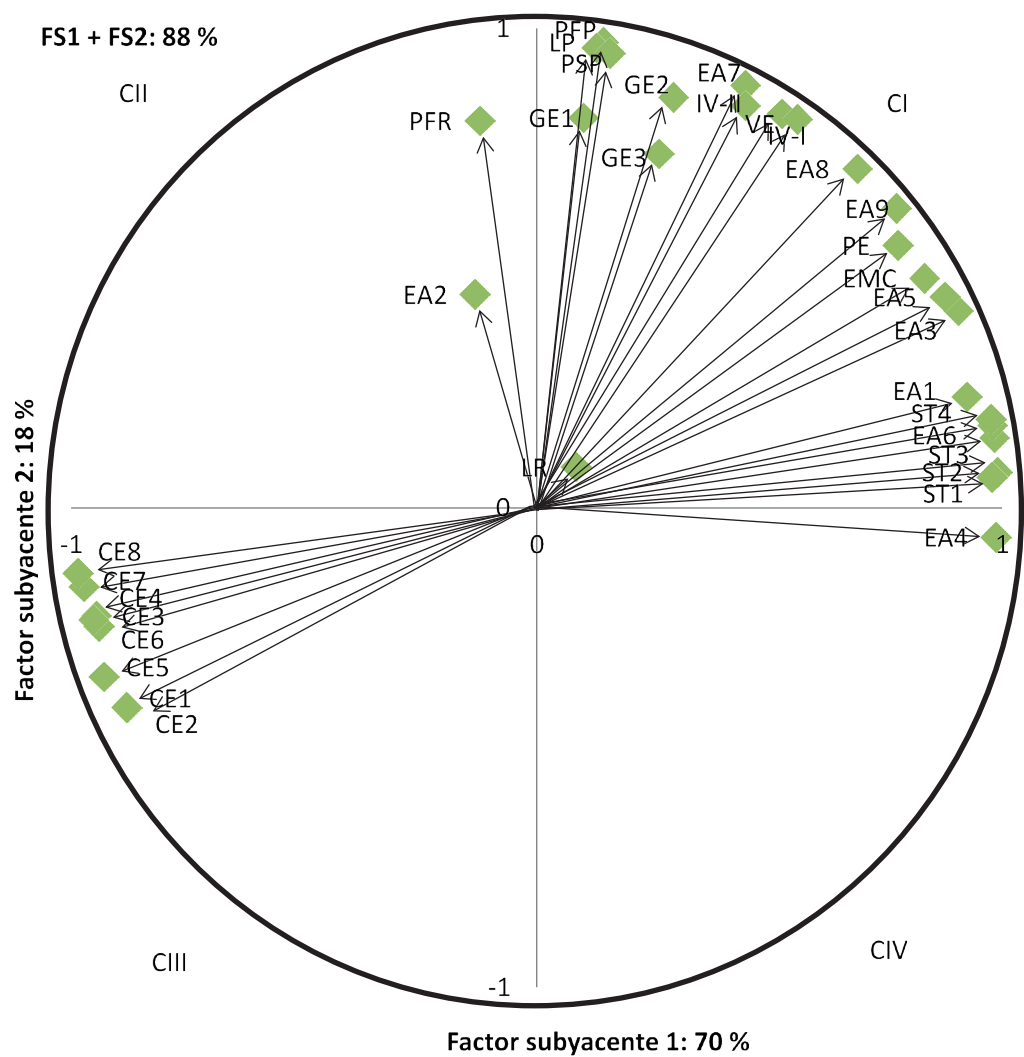


Figura 1. Análisis por factores de las pruebas de germinación y vigor en tres ecotipos de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.). Pruebas GE: germinación, ST: soak test o remojo, CE: conductividad eléctrica, EA: envejecimiento acelerado.

Interacción Genotipos-Pruebas de vigor y germinación

En la Figura 2 se muestra el patrón de respuesta de las pruebas con respecto a las variedades, identificando el genotipo sobresaliente en cada prueba; en este sentido, el CP1 explicó el 93.24 %, mientras que el CP2 explicó el 6.76 %, por lo que el plano cartesiano explica el 100 % de la variación total de los tres ecotipos y de las pruebas de germinación y vigor. Del mismo modo, se observan tres “mega ambientes o sectores” (líneas negras punteadas) que permiten identificar la prueba que presentó el mejor comportamiento y en qué ecotipo (Yan *et al.*, 2016). Los tres ecotipos respondieron de manera diferente a las pruebas de germinación y vigor. El ecotipo de semilla amarilla sobresalió en 12 de las pruebas, mientras que la variedad morada lo hizo en cuatro y la variedad de semilla negra fue consistente con los menores valores de germinación y vigor; por lo tanto, no destacó en ninguna de

las pruebas en esta investigación.

La prueba de Ge a los 20, 25 y 30 °C se ubicó en el CP1, en el sector donde se encuentra el ecotipo de semilla amarilla, lo que indica que este genotipo obtuvo los mejores resultados en las tres condiciones en que se desarrolló la prueba, seguido por la variedad de semilla morada, y con los porcentajes menores la semilla negra.

En la prueba de EA, dos pruebas se posicionaron sobre el eje de las abscisas (EA1 y EA2), donde EA2 fue el tratamiento que menos contribuyó en diferenciar los ecotipos, ya que los tres materiales respondieron de manera similar en esta prueba. La prueba EA9 (72 h de estrés a 45 °C y 25 °C para prueba de Ge) es el tratamiento de mayor cantidad de horas de estrés y de temperatura, y el ecotipo de semilla amarilla obtuvo los mejores resultados, lo que significa que es un genotipo de alto vigor en comparación con el

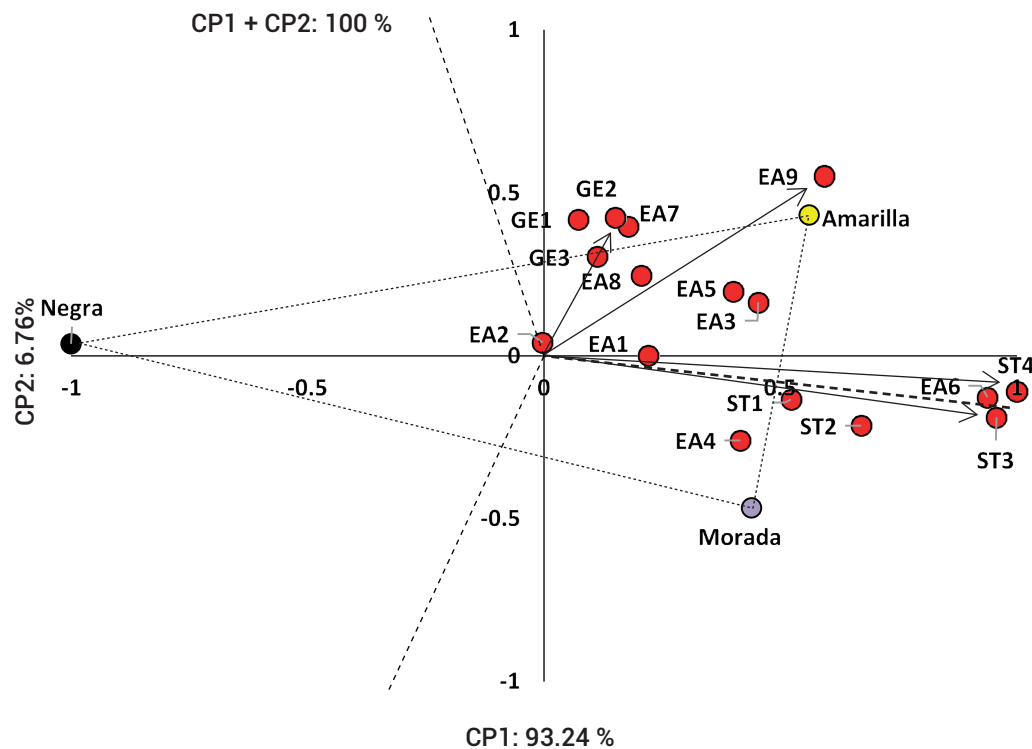


Figura 2. Análisis de la interacción con el modelo SREG de tres ecotipos de jícama en pruebas de germinación y vigor de semilla. Pruebas ST: soak test o remojo, GE: germinación, EA: envejecimiento acelerado.

resto de los materiales. Dentro de las pruebas de vigor evaluadas, envejecimiento acelerado (EA) fue la que más logró discriminar entre los ecotipos; de esta manera, se puede decir que la semilla amarilla es de alto vigor, ya que la prueba se puede realizar en condiciones de hasta 72 h de envejecimiento, 45 y 25 °C para germinación y presentar porcentajes de germinación altos. Por lo anterior, es de suma importancia investigar el efecto genético y su relación con la calidad de la semilla (TeKrony y Egli, 1991), sobre todo en aquellas especies donde existe poca información.

En la prueba de ST, la semilla morada obtuvo los mayores porcentajes de germinación en los tratamientos ST1, ST2 y ST3, y la semilla amarilla en ST4. Para la variedad de semilla negra el menor porcentaje de germinación se obtuvo con el tratamiento ST4. En esta prueba la semilla morada presentó los mejores valores con 48 horas de remojo; sin embargo, es necesario estudiar las propiedades físicas de la semilla que influyen en una baja permeabilidad. La finalidad de esta prueba es explorar genotipos que se puedan establecer en terrenos con limitado drenaje para no afectar la germinación de la semilla. En semilla de *Pinus cembroides* y *P. orizabensis* se reportó que el grosor que posee la testa influye en la capacidad de permeabilidad de la semilla y que semillas con testa de mayor grosor

absorbieron menos agua en comparación con las de menor grosor, lo que influyó en la velocidad y porcentaje de germinación (Hernández-Anguiano *et al.*, 2018).

Interacción Genotipos-Conductividad eléctrica (CE)

La Figura 3 muestra el gráfico para CE, donde los CP1 y CP2 explicaron el 100 % de la variación de la interacción. Se trazó una línea de cada uno de los ecotipos formando un polígono, el cual tiene tres sectores. Las pruebas se encuentran en el sector perteneciente al ecotipo de la variedad de semilla negra, lo que indica que este genotipo presentó mayor valor de CE. En general, por su magnitud y sentido, CE8 fue la prueba de mayor varianza y también en la que la semilla negra obtuvo mayor CE. La prueba de CE1 fue la más cercana al punto de origen, lo que indica que los tres ecotipos en este tratamiento presentaron valores similares de CE; de esta manera, al desarrollar la prueba en estas condiciones permitirá observar diferencias entre los lotes de semilla de jícama. Por otro lado, la prueba CE7 presentó las mejores condiciones en comparación con los otros tratamientos, aunque para desarrollar esta prueba y observar el punto en se pueda diferenciar entre los ecotipos es pertinente hacer la prueba utilizando un mayor número de tratamientos. También se ha examinado la eficacia de la prueba CE para predecir la germinación en

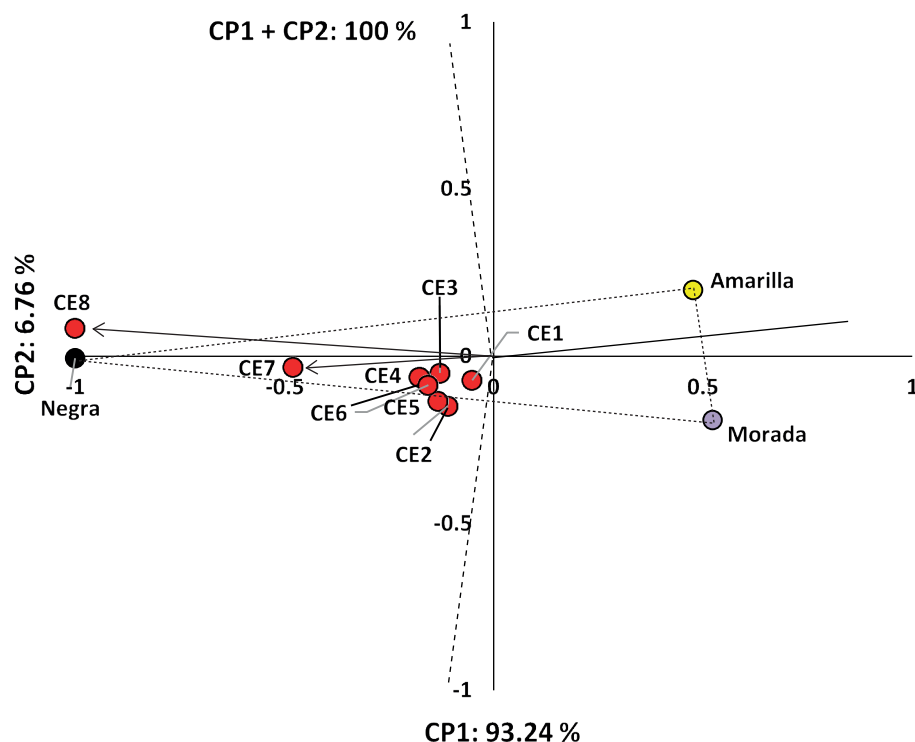


Figura 3. Análisis de la interacción con el modelo SREG de tres ecotipos de jícama en ambientes de evaluación para conductividad eléctrica de semilla. CE: conductividad eléctrica, CE1: 24 h a 25 °C, CE2: 48 h a 30 °C, CE3: 72 h a 25 °C, CE4: 96 h a 25 °C, CE5: 24 h a 30 °C, CE6: 48 h a 30 °C, CE7: 72 h a 30 °C, CE8: 96 h a 30 °C.

coles (*Brassica aleracea* var. *capitata*) y coliflores (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). Esta prueba predijo con exactitud la germinación total de semillas envejecidas artificialmente bajo condiciones de laboratorio (Mirdad *et al.*, 2006) y en lotes de semillas de col envejecidas naturalmente provenientes del mercado (Demir *et al.*, 2008).

Interacción Genotipo-vigor inicial de plántula en cama de arena (CA) y emergencia en campo (EMC)

En la Figura 4 se muestra el patrón de respuesta de las pruebas de vigor inicial de plántula en CA y EMC con respecto a las variedades, identificando el genotipo sobresaliente en cada prueba. El CP1 explicó el 99.93 % de la variación total, mientras que el CP2 explicó el 0.07 %, por lo que el plano cartesiano explica la totalidad de la varianza. Se observan tres "mega ambientes o sectores", en un sector se encuentra posicionado el ecotipo de semilla amarilla y en otro sector los ecotipos de semilla negra y morada. La variedad de semilla amarilla sobresalió en VE, EMC, PFP, IV-I y IV-II, mientras que las variedades negra y morada no sobresalieron en ninguna de las variables evaluadas. El resto de las variables se posicionaron en el origen del plano cartesiano, indicando la nula diferencia entre ecotipos, por lo que estas variables no fueron útiles para diferenciar lotes de semilla.

En las diferentes pruebas realizadas resaltó el ecotipo de semilla amarilla, indicando que posee alto vigor de semilla y plántula en comparación con los otros materiales evaluados. Sobre este aspecto, se han realizado trabajos de investigación en *Zea mays* (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2016) y en *Triticum aestivum* (Noriega-Carmona *et al.*, 2019) para identificar genotipos de alto vigor inicial de plántula.

CONCLUSIONES

La prueba de germinación realizada en condiciones de 25 °C es ideal para estimar el potencial germinativo de semillas de jícama amarilla, la de mayor uso en la región de El Bajío de Guanajuato, México. La respuesta fisiológica de los ecotipos evaluados en las pruebas de vigor fue diferente, donde la prueba de EA permitió discriminar en mayor medida el vigor de los genotipos. Sería conveniente que en futuros estudios de la prueba de CE se utilicen periodos de evaluación dentro de las 24 h para discriminar el vigor de lotes en un periodo menor de 72 h, que fue lo que se detectó en esta investigación. La prueba de ST realizada en condiciones de 48 h a 25 °C es ideal para discriminar el vigor de semilla de los genotipos. Es conveniente realizar un análisis que permita correlacionar estas pruebas de vigor con la emergencia en campo y vigor de plántula en cama de arena, ya que las variables de IVI, IVII, VE, EMC y

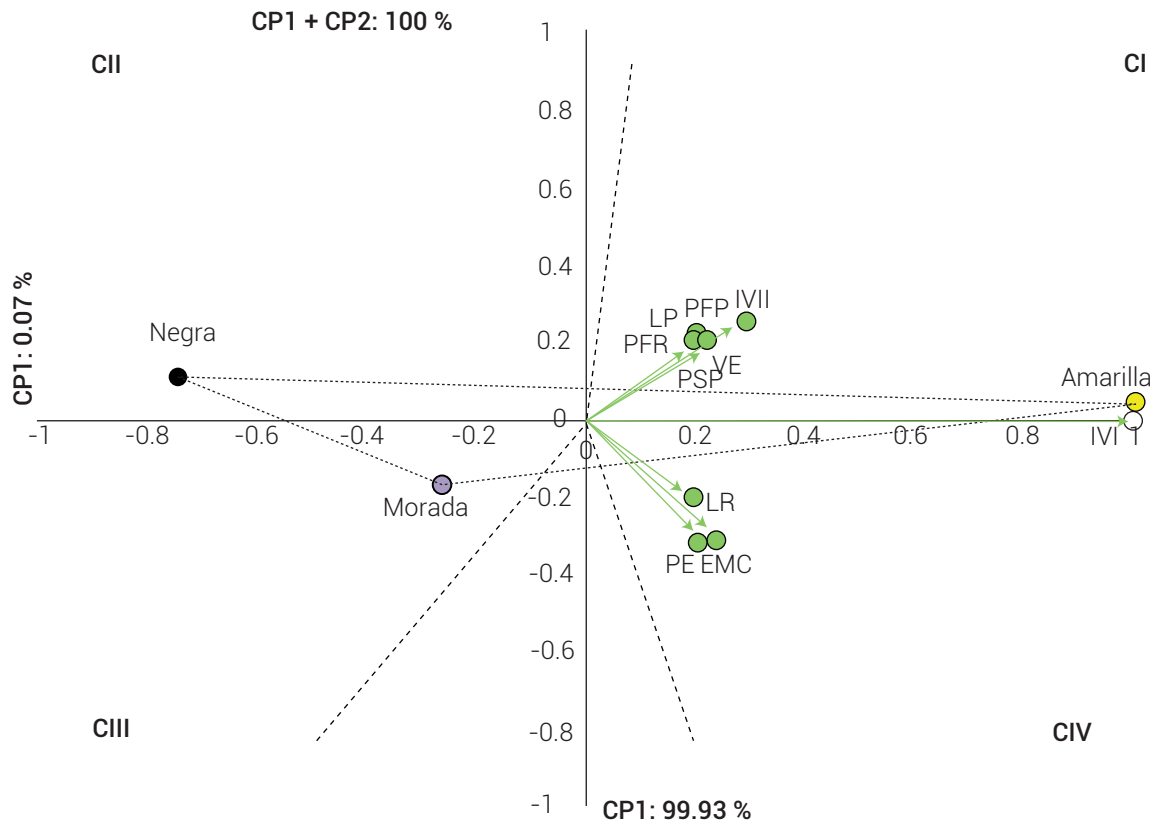


Figura 4. Análisis de la interacción con el modelo SREG de tres ecotipos de jícama en ambientes de evaluación de cama de arena y campo.

PFP se relacionan con el vigor de la semilla amarilla, pero no con el comportamiento de los dos ecotipos evaluados. El ecotipo de semilla morada respondió mejor a las pruebas de ST, pruebas en las que también obtuvo buenos valores el ecotipo de semilla amarilla. El ecotipo de semilla negra no sobresalió en ninguna prueba, probablemente por su rusticidad, por lo que será necesario ampliar los rangos de exploración.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONAHCYT de México (actualmente SECIHTI) por la beca otorgada al primer autor para la realización de estudios de doctorado.

BIBLIOGRAFÍA

- Araméndiz-Tatis H., C. Cardona-Ayala y K. Alzate-Román (2017) Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria* 8:225-231, <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.05>
- Biradarpatil N. K., R. Smayli and P. S. Shivasharanappa (2023) Prediction of field performance of seed lots of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) through vigour tests. *Legume Research* 46:1467-1474, <https://doi.org/10.18805/LR-4458>
- Buckman E. S., I. Oduro, W. A. Plahar and C. Tortoe (2017) Determination of the chemical and functional properties of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) flour for food systems. *Food Science & Nutrition* 6:457-463, <https://doi.org/10.1002/fsn3.574>
- Caroca R., N. Zapata and M. Vargas (2016) Temperature effect on the germination of four peanut genotypes (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 32:94-101, <http://doi.org/10.4067/S0719-38902016000200002>
- Cervantes-Ortiz F., J. Hernández-Esparza, J. A. Rangel-Lucio, E. Andrio-Enríquez, M. Mendoza-Elos, G. Rodríguez-Pérez y L. P. Guevara-Acevedo (2016) Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S_3 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39:259-268, <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.3.259-268>
- Copeland L. O. and M. B. McDonald (1995) Principles of Seed Science and Technology. Third edition. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Demir I., K. Mavi, B. B. Kenanoglu and S. Matthews (2008) Prediction of germination and vigour in naturally aged commercially available seed lots of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) using the bulk conductivity method. *Seed Science and Technology* 36:509-523, <https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.3.01>
- Ermis S. (2022) Prediction of germination percentage through electrical conductivity in white and coloured coated French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Legume Research* 45:1528-1531, <https://doi.org/10.18805/LRF-704>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022) Cultivos y productos de ganadería. FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize> (Marzo 2024).
- Fernández-Andrés M. D., J. A. Rangel-Lucio, J. M. Juárez-Goiz, R. Bujanos-

- Muñiz, S. Montes-Hernández y M. Mendoza-Elos (2008) Oleoresina de jícama para controlar *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleóptera: Bruchidae) en semilla de frijol. *Agronomía Mesoamericana* 20:59-69, <https://doi.org/10.15517/am.v20i1.4981>
- FGP, Fundación Guanajuato Produce (2024) Red de estaciones agroclimáticas: datos históricos. Guanajuato. Celaya, Guanajuato, México. <https://www.estaciones.fundacionguanajuato.mx/alltxt/> (Agosto 2024).
- Gayathri M., R. Jerlin, T. Evera and G. Amuthaselvi (2024) Effect of accelerated aged groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds on physiological and biochemical properties. *Legume Research* 47:1480-1485, <https://doi.org/10.18805/LR-5161>
- Hernández-Anguiano L. A., J. López-Upton, C. Ramírez-Herrera y A. Romero-Manzanares (2018) Variación en germinación y vigor de semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis*. *Agrociencia* 52:1161-1178.
- ISTA, International Seeds Testing Association (2015) International Rules for Seed Testing. Introduction to the ISTA Rules. International Seeds Testing Association. Zurich, Switzerland. pp:1-6.
- Jianhua Z. and M. B. McDonald (1997) The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. *Seed Science and Technology* 25:123-131.
- Kharb R. P. S., B. P. S. Lather and D. P. Deswal (1994) Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Science and Technology* 22:461-466.
- Knothe G., L. F. Razon, D. A. Madulid, E. M. G. Agoos and M. E. G. de Castro (2018) Methyl esters (biodiesel) from *Pachyrhizus erosus* seed oil. *Biofuels* 9:449-454, <https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1275493>
- Maqueira-López L. A., O. Roján-Herrera, J. Solano-Flores e I. Milagros-Santana (2021) Germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes temperaturas. *Cultivos Tropicales* 42:e03.
- Martínez M. L., D. O. Labuckas, A. L. Lamarque and D. M. Maestri (2010) Walnut (*Juglans regia* L.): genetic resources, chemistry, by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:1959-1967, <https://doi.org/10.1002/jsfa.4059>
- McDonald M. B. (1980) Assessment of seed quality. *HortScience* 15:784-788, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.15.6.784>
- Mirdad Z., A. A. Powell and S. Matthews (2006) Prediction of germination in artificially aged seeds of *Brassica* spp. using the bulk conductivity test. *Seed Science and Technology* 34:273-286, <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.2.03>
- Munamava M. R., A. S. Goggi and L. Pollak (2004) Seed quality of maize inbred lines with different composition and genetic backgrounds. *Crop Science* 44:542-548, <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.5420>
- Noman A. S. M., M. A. Hoque, N. M. Haque, F. Pervin and M. R. Karim (2007) Nutritional and anti-nutritional components in *Pachyrhizus erosus* L. tuber. *Food Chemistry* 102:1112-1118, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.055>
- Noriega-Carmona M. A., F. Cervantes-Ortiz, E. Solís-Moya, E. Andrio-Enríquez, J. A. Rangel-Lucio, G. Rodríguez-Pérez, ... y J. G. García-Rodríguez (2019) Efecto de la fecha de siembra sobre la calidad de semilla de trigo en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:375-384, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.375-384>
- Pacheco-Gil R. A., M. Vargas, G. Alvarado, F. Rodríguez, J. Crossa and J. Burgueño (2015) GEA-R (Genotype × Environment Analysis with R for Windows) Version 4.1. CIMMYT Research Data & Software Repository Network, V16. CIMMYT. Mexico. <https://hdl.handle.net/11529/10203>
- Park C. J., H. A. Lee and J. S. Han (2015) Jicama (*Pachyrhizus erosus*) extract increases insulin sensitivity and regulates hepatic glucose in C57BL/Ksj-db/db mice. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition* 58:56-63, <https://doi.org/10.3164/jcbl.15-59>
- Rangel-Lucio J. A., J. M. Juárez-Goiz, E. García-Moya, M. D. Fernández-Andrés, C. Rodríguez-Hernández y E. Alvarado-Bárcenas (2011) Oleoresina de jícama y calidad de semilla de frijol infestada con *Acanthoscelides obtectus* Say. *Agronomía Mesoamericana* 22:109-116, <https://doi.org/10.15517/am.v22i1.8673>
- Santoso P., R. Maliza, S. J. Insani, Q. Fadhilah and R. Rahayu (2021) Preventive effect of jicama (*Pachyrhizus erosus*) fiber against diabetes development in mice fed with high-fat diet. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 11:137-143, <https://doi.org/10.7324/JAPS.2021.110116>
- SAS Institute (2016) SAS para Windows. Version 9.4. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ (Agosto 2025)
- Sørensen M. (1996) Yam Bean. *Pachyrhizus* DC. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. 2. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben, Germany/International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 140 p.
- TeKrony D. M. and D. B. Egli (1991) Relationship of seed vigor to crop yield: a review. *Crop Science* 31:816-822, <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100030054x>
- Vanderleia M. and C. M. M. Coelho (2020) Correlation between vigor by accelerated aging at pre-sowing and soybean seedling emergence in the field. *Semina: Ciências Agrárias* 42:455-470, <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n2p455>
- Vieira R. D., A. L. Penariol, D. Pericin and M. Panobianco (2002) Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37:1333-1338, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900018>
- Yan W., R. J. Frégeau, D. Pageau and R. Martin (2016) Genotype-by-environment interaction and trait associations in two genetic populations of oat. *Crop Science* 56:1136-1145, <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.11.0678>