



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

**EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE
PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN DOS ESPECIES
OLERÍCOLAS**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

BERNABÉ VALENCIA MARÍA SONIA

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

JUAN MARTINEZ SOLÍS, Dr.



CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO DE 2019



**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES**

La tesis titulada “EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN DOS ESPECIES OLERÍCOLAS” fue realizada por la C. María Sonia Bernabé Valencia, bajo la dirección del Dr. Juan Martínez Solís y asesoría del Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez y Dr. Aureliano Peña Lomelí, ha sido revisada y aprobada por el honorable jurado examinador, como requisito parcial para obtener el grado de:

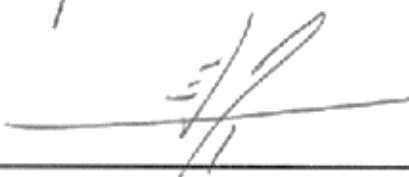
Maestro en Ciencias en Horticultura

Comité Asesor

PRESIDENTE:


Dr. Juan Martínez Solís

ASESOR:


Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

ASESOR:


Dr. Aureliano Peña Lomelí

AGRADECIMIENTOS

AL Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial al Instituto de Horticultura.

Al comité por asesorarme en cada paso para el logro de este trabajo.

Al Dr. Juan Martínez Solís por su valioso apoyo, constancia y tiempo dedicado para la realización de este trabajo.

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez por su gran apoyo para la realización del presente trabajo.

Al Dr. Aureliano Peña Lomelí por su valiosa aportación para la elaboración de este trabajo.

Al M. C. Natanael Magaña Lira por su disposición y gran apoyo al compartir sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo.

A mi familia y amigos que me han brindado su apoyo en esta etapa de mi vida.

DEDICATORIA

A Dios por guiar mi camino con sus bendiciones, por darme fortaleza en tiempos difíciles, siempre para seguir adelante manteniendo la fe en todo momento.

A mis padres (Modesto Bernabé Méndez y Agustina Valencias Santiago) por ser mis pilares más grandes, que siempre han depositado su confianza en cada uno de mis proyectos. Por su gran apoyo y amor incondicional.

A mis hermanos (Juan Carlos, José, Miriam Guadalupe, Gloria Modesta, Modesto), por su apoyo incondicional. A mi hija (Perla Anahí); la mayor alegría y motivación en mi vida.

A mi comité asesor por su valioso apoyo y constancia para la elaboración de este trabajo.

A mis compañeros y amigos, en especial a Reyna, Violeta, Palomo y Mario.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN DOS ESPECIES OLERICOLAS	x
RESUMEN GENERAL	x
GENERAL SUMMARY	1
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	2
CAPITULO II. REVISION DE LITERATURA	5
LITERATURA CITADA.....	10
CAPITULO III. EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	13
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCION	15
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Material vegetal	17
Pruebas de calidad fisiológica de semillas.....	18
Prueba de germinación estándar	18
Prueba de emergencia en invernadero	20
Prueba de conductividad eléctrica (CE)	21
Análisis estadístico	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
Prueba de germinación estándar	22
Prueba de emergencia en invernadero	30
Correlación Pearson	37
CONCLUSIONES	46
LITERATURA CITADA.....	47

CAPITULO IV. EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.)	51
RESUMEN	51
ABSTRACT	52
INTRODUCCION	53
MATERIALES Y MÉTODOS	55
Material vegetal	55
Pruebas de calidad fisiológica de semillas	55
Prueba de germinación estándar	55
Prueba de emergencia en invernadero	57
Prueba de conductividad eléctrica (CE)	58
Análisis estadístico	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
Prueba de germinación estándar	59
Prueba de emergencia en invernadero	64
Correlación Pearson	66
CONCLUSIONES	72
LITERATURA CITADA.....	73
ANEXOS	77

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de genotipos evaluados por forma de separación de semilla. ..	18
Cuadro 2. Cuadrados medios de germinación y variables de vigor de semillas en genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación y su interacción, evaluadas en condiciones de laboratorio.....	23
Cuadro 3. Comparación de medias de germinación y variables de vigor en semillas de genotipos de jitomate en condiciones de laboratorio.	25
Cuadro 4. Comparación de medias de germinación y variables de vigor de semillas de genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación evaluadas en condiciones de laboratorio.	29
Cuadro 5. Cuadrados medios de emergencia y variables de vigor de semillas en genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación y su interacción, evaluadas en condiciones de invernadero.....	31
Cuadro 6. Comparación de medias de emergencia y variables de vigor en semillas de genotipos de jitomate evaluadas en condiciones de invernadero.	33
Cuadro 7. Comparación de medias de emergencia y variables de vigor de semillas de genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación evaluadas en condiciones de invernadero.	36
Cuadro 8. Cuadrados medios de germinación y variables de vigor de semillas en variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de laboratorio.	60
Cuadro 9. Comparación de medias de germinación y variables de vigor en semillas de variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de laboratorio.	63
Cuadro 10. Cuadrados medios de germinación y variables de vigor de semillas en variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de invernadero.	64
Cuadro 11. Comparación de medias de germinación y variables de vigor en semillas de variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de invernadero.	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de germinación (G) en laboratorio y emergencia (E) en invernadero en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.....	38
Figura 2. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el índice de velocidad de germinación (IVG) en laboratorio e índice de velocidad de emergencia (IVE) en invernadero en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.	38
Figura 3. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de plántulas normales (PNL) en laboratorio e invernadero (PNI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.....	39
Figura 4. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de plántulas anormales (PAL) evaluadas en laboratorio en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.	40
Figura 5. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y porcentaje de semilla no germinada en laboratorio (SNGL) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.....	41
Figura 6. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y longitud de la parte aérea de plántula evaluada en laboratorio (LPAL) e invernadero (LPAI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.....	42
Figura 7. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y peso fresco de la parte aérea de plántula evaluada en laboratorio (PFAL) e invernadero (PFAI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación. ...	43
Figura 8. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y peso seco de la parte aérea de plántula evaluada en laboratorio (PSAL) e invernadero (PSAI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación...	44
Figura 9. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y medidas de conductividad eléctrica (CE) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.....	44

Figura 10. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y los porcentajes de germinación (G), plántulas normales (PNL), plántulas anormales (PNL) y semillas no germinadas (SNGL) obtenidos de una prueba de germinación estándar en laboratorio en semillas de tomate de cáscara.	67
Figura 11. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y ocho variables de vigor obtenidas de una prueba de germinación estándar en laboratorio en semillas de tomate de cáscara.	68
Figura 12. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de plántulas emergidas (EI) y plántulas normales (PNI) de una prueba de emergencia en charolas bajo invernadero en semillas de tomate de cáscara.	70
Figura 13. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y ocho variables de vigor obtenidas de una prueba de emergencia en charolas bajo invernadero en semillas de tomate de cáscara.....	71

EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN DOS ESPECIES OLERICOLAS

RESUMEN GENERAL

En la industria de las semillas, la evaluación de la calidad fisiológica se lleva a cabo con una prueba de germinación estándar, donde se cuantifica el número de plántulas normales, sinónimo universal de porcentaje de germinación para propósito de certificación, actividad que implica varios días de seguimiento para obtener el resultado final. Ante la necesidad de acortar el período de ejecución de esta prueba y hacer más rápida la comercialización de la semilla, se ha planteado utilizar al porcentaje de protrusión de radícula de la semilla como un indicador del porcentaje de germinación. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue reducir el tiempo para dictaminar la certificación del porcentaje de germinación mediante el uso del porcentaje de protrusión de radícula en semillas de *Solanum lycopersicum* L y *Physalis ixocarpa* Brot ex Horm. Para ello, se establecieron en una prueba de germinación estándar en laboratorio y otra de emergencia en charolas de poliestireno en invernadero, 25 genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación de semilla y 4 variedades de tomate de cáscara en el Laboratorio de Semillas e invernadero de la Universidad Autónoma Chapingo en 2018, donde se determinaron correlaciones del porcentaje de protrusión de radícula de los días transcurridos entre las variables de germinación, emergencia y vigor. Se tomó como indicador el punto de alcance de correlación más alta entre porcentaje de protrusión de radícula y el porcentaje de plántulas normales ($r > 0.8$; $p < 0.001$), valor que se encontró al quinto y cuarto día en jitomate y tomate de cáscara, respectivamente, momento que puede ser considerado para certificar la germinación en cada especie. La prueba de conductividad eléctrica permitió identificar los lotes de semilla de jitomate con mayor vigor en aquellas separadas por fermentación, mientras que, en tomate de cáscara, permitió identificar a la variedad Diamante y Tecozautla como las de mayor vigor.

Palabras clave: calidad fisiológica, germinación estándar, plántulas normales, protrusión de radícula, vigor.

RADICLE EMERGENCE FOR CERTIFICATION PERCENTAGE GERMINATION IN TWO OLERICORAS SPECIES

GENERAL ABSTRACT

In the seed industry, the physiological seed quality evaluation is carried out using a standard germination test, where it quantifies the number of normal seedlings, universal synonymous of germination percentage for certification purpose, activity that involves several days of tracking to get the final result. In order to reduce the execution period of this test and make faster the seed commercialization, several researchers have been using the radicle emergence percentage as an indicator of the germination percentage. The objective of this research was to reduce the germination percentage certification period using the percentage of radicle emergence in seeds of *Solanum lycopersicum* L. and *Physalis ixocarpa* Brot ex Horm. Therefore, a standard germination test in laboratory and emergence test in polystyrene trays under greenhouse conditions were carried out on 25 tomato genotypes obtained by three separation methods, as well as seed of four husk tomato varieties. The experiments were carried out at Seed laboratory and greenhouse at University Autonomous Chapingo in 2018, where correlations of the percentage of radicle emergence of the days passed between the germination, emergence and vigor variables were determined. It was taken as an indicator the point of scope of highest correlation between percentage of radicle emergence and the percentage of normal seedlings ($r > 0.8$; $p < 0.001$), value that was found at the fifth and fourth day in tomato and husk tomato, respectively, time that can be considered to certify the germination in each specie. Electrical conductivity test allowed the identification of tomato seed lots with superior vigor in those separated by fermentation, meanwhile, in husk tomato, it was identified Diamante and Tecozautla varieties such as the greater vigor.

Keywords: Physiological quality, standar germination, normal seedlings, radicle emergence, vigor

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En la producción agrícola la calidad de semilla que se utiliza es uno de los factores que influyen en el establecimiento adecuado de los cultivos, efecto que se ve reflejado en el comportamiento de la germinación, nacencia y desarrollo de la plántula (Copeland y McDonald, 2002), así como en la tolerancia a factores adversos, rendimiento y calidad de fruto.

La certificación de semillas es un proceso de verificación de las mismas con normas de calidad estrictas, que consiste en un análisis de laboratorio e inspección en campo que comprueben la calidad de las semillas desde su origen hasta su comercialización (Bogdanović, 2015), cuyo propósito es asegurar que los productores reciban semillas con la identidad genética que pretenden, libres de fitopatógenos, con buena calidad física y fisiológica (George, 2010).

El proceso de certificación se hace a través de instituciones gubernamentales, siendo el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas en la entidad mexicana que realiza dicha actividad (SNICS, 2018), aunque cabe mencionar que las empresas privadas pueden supervisar sus propios procesos y en este contexto hacerse responsables de las desavenencias que se puedan originar por la distribución de una semilla de baja calidad.

Para fines de comercialización, las etiquetas de certificación reportan básicamente tres parámetros de calidad: la pureza física, la calidad genética cuando se declara la variedad, y la calidad fisiológica, en particular con el porcentaje de germinación.

En este contexto, el porcentaje de germinación se determina con una prueba estándar definida por las Normas Internacionales de Análisis de Semillas (ISTA, 2018), documento en el que se describen los protocolos universales a utilizar para las diversas especies, particularmente aquellas de uso comercial, normas que finalmente son utilizadas por las empresas productoras de semillas, así como por instituciones de enseñanza e investigación relacionadas con el control de calidad de semillas (INTA, 2013).

En los informes de pruebas de germinación estándar se reportan, entre otros, el porcentaje plántulas normales, que son consideradas todas aquellas plántulas que al final de la evaluación presentan todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas (ISTA, 2018), valor que es fundamental para la certificación, en virtud de que este es el valor que se utiliza para reportar el porcentaje de germinación del lote (SNICS, 2018); no obstante, biológicamente una semilla se considera germinada desde el momento en que se aprecia la emergencia de la radícula (Rosabal *et al.*, 2014).

En el procesamiento de algunas semillas de hortalizas, la materia prima seca, limpia y clasificada, comúnmente pasa a un almacenamiento temporal, en espera de ser tratada y envasada hasta que la empresa recibe notificación de algún pedido, estrategia que se sigue para evitar pérdidas económicas debido a la susceptibilidad de las semillas a deteriorarse rápidamente aún en condiciones adecuadas de almacenamiento (Desai, 2004). No obstante, en este modelo las transacciones pueden demorar porque las pruebas de germinación estándar a pesar de hacerse paralelamente al envasado, suelen llevar más tiempo por estar sujetas a las normas de la ISTA, motivo por lo que los empresarios han buscado alternativas para hacer la entrega del producto en el menor tiempo posible.

Bajo estas circunstancias, diversos investigadores han hecho la propuesta de utilizar a la protrusión de radícula como una alternativa para pronosticar el porcentaje de plántulas normales (Mathews *et al.*, 2018), por lo que se hecho trabajos de investigación con resultados prometedores en maíz, algodón, pepino y sandía (Matthews *et al.*, 2011), así como en poro (Ermis *et al.*, 2015a) y tomate (Ermis *et al.*, 2015b). En colza (Khajeh *et al.*, 2010; Matthews *et al.*, 2018) y rábano (Mavi *et al.*, 2016), los resultados de estos estudios han establecido las bases para que la Asociación Internacional de Semillas haya considerado autorizar para estas dos especies, el uso del porcentaje de protrusión de radícula como una alternativa para definir el porcentaje de plántulas normales en lotes de semillas.

La prueba estándar de germinación para jitomate y tomate de cáscara involucra hasta catorce y veintiocho días, respectivamente (ISTA, 2018), lo que implica además de los

inconvenientes previamente mencionados, inversión de tiempo y recursos para obtener la información requerida, por lo que se planteó el presente trabajo con los siguientes:

OBJETIVOS

Objetivo general

Reducir el tiempo para dictaminar la certificación de la calidad fisiológica de lotes de semillas en función del porcentaje de protrusión de radícula.

Objetivo particular

Analizar la factibilidad del uso del porcentaje de semillas con protrusión de radícula como un indicador para pronosticar el porcentaje de plántulas normales en una prueba de germinación estándar.

CAPITULO II. REVISION DE LITERATURA

México es el principal proveedor de jitomate a nivel mundial con una participación en el mercado internacional de 25.11 % del valor de las exportaciones (SAGARPA, 2017), por lo que disponer de las mejores condiciones tecnológicas para la producción es esencial, donde las semillas mejoradas tienen un rol muy importante, porque proveen la condición genética para generar plantas con buen rendimiento, calidad de fruto y tolerantes a factores adversos, todo ello como respuesta a la mejora continua y la selección a través del tiempo (FAO, 2011).

La calidad de la semilla es el resultado de sus características genéticas, físicas, fitosanitarias y fisiológicas; la presencia de dichas particularidades en su máximo nivel, permite que la semilla esté en su máxima calidad integral (INTA, 2013); la calidad física se evalúa en función de la presencia de semillas de otros cultivos o malezas, materia inerte, así como la integridad de la semilla como el porcentaje de semilla quebrada, tamaño y peso (Copeland y McDonald, 2001). La calidad genética determina la autenticidad o fidelidad de las semillas de una determinada variedad con respecto a las características de la variedad liberada por el fitomejorador, mientras que la calidad fitosanitaria es evaluada y determinada por la presencia o ausencia de organismos patógenos causantes de enfermedades (Delouche, 2002). Finalmente, la calidad fisiológica es la capacidad de la semilla para producir una nueva planta, la cual es evaluada a través de la viabilidad, capacidad de germinación y vigor (FAO, 2011).

Una vez que se alcanzan los máximos estándares de calidad, para muchos investigadores la condición biológica de las semillas es el elemento al que mayor atención se le debe otorgar durante su almacenamiento, pues es el más susceptible a cambiar (Delouche, 2002) y en particular en las semillas hortícolas, las cuales reducen su viabilidad y germinación con alta humedad relativa y temperatura, fundamentalmente cuando es alto el contenido de humedad de la semilla (Copeland y McDonald, 2001).

Tomando en cuenta exclusivamente los aspectos de la semilla, el éxito de un cultivo depende en gran parte de las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla, su

reacción al ambiente y la rapidez con que utilicen sus reservas para el crecimiento de la plántula (Lamour y Lotz, 2007), ya que todo esto permitirá que el embrión se transforme en una plántula autótrofa, mediante mecanismos metabólicos y morfogenéticos conocidos como proceso de germinación, el cual está constituido por varias fases: a) absorción de agua por la semilla o imbibición; b) activación del metabolismo y proceso de respiración, síntesis de proteínas y movilización de sustancias de reserva; c) elongación del embrión y ruptura de la testa a través de la cual se observa salida de la radícula (Suárez y Melgarejo, 2010).

Para garantizar que el agricultor reciba la calidad de semilla que pretende, es necesario someter a un proceso de certificación todos los lotes de producción, desde su establecimiento hasta su comercialización (FAO, 2011), actividad que se hace a través de instancias gubernamentales u organismos calificados previamente designados por las autoridades (SNICS, 2018).

Para fines de certificación de un lote de semilla, los técnicos generan diversos indicadores, de los cuales solo tres son de uso para los consumidores: la pureza física, la calidad genética y el porcentaje de germinación, información que es registrada en las etiquetas de certificación adheridas a los envases (SNICS, 2018). El porcentaje de germinación es obtenido de una prueba estándar realizada con base en los protocolos establecidos por la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA, 2018), donde el valor reportado corresponde al número de plántulas que presentan todas sus estructuras esenciales y que son denominadas “plántulas normales” para efecto de control de calidad y certificación de lotes de semillas. En este contexto, las plántulas que carecen de alguna de sus estructuras esenciales o bien presentan alguna malformación, son designadas como “plántulas anormales”, no obstante que biológicamente esta representa una semilla germinada por haber presentado en algún momento la emergencia de la radícula (Rosabal *et al.*, 2014).

Las plántulas normales son aquellas que desarrollan todas sus estructuras esenciales en condiciones controladas (agua, luz y temperatura), que tienen la capacidad de generar

plantas de porte uniforme, sistema radicular desarrollado, raíz primaria y raíces seminales, hipocótilo con desarrollo sin daños en el tejido, plúmula con buen crecimiento, con hojas bien desarrolladas. Se consideran plántulas anormales las que muestran raíz primaria dañada, sin desarrollo y/o emergencia, con poco vigor sin atravesar la testa de la semilla, con geotropismo negativo, sin raíces secundarias; brote (hipocótilo, epicótilo, mesocótilo) sin desarrollo, ensanchado, torcido o sin emergencia, cotiledones y hojas deformes, necróticas o dañadas por infecciones (Pérez y Pita, 2016).

La primera manifestación de la germinación exitosa es la emergencia de la radícula, que depende de la expansión del embrión y que a su vez está dada principalmente por cambios de extensibilidad de la pared celular (Rosabal *et al.*, 2014), donde hay factores externos que regulan el proceso como el grosor de la testa, disponibilidad de agua, temperatura y tipos de luz (Suárez y Melgarejo, 2010). Antes de la germinación, las semillas se encuentran en una fase de mantenimiento que se caracteriza como dormancia impuesta por ABA, bloqueadores metabólicos u otros agentes que dificultan la transición hacia la germinación. Un agente como la luz o variaciones de temperatura cambian el balance a favor de los promotores como las giberelinas, y así se despliega el proceso de germinación (Rosabal *et al.*, 2014).

La protrusión de la radícula depende del crecimiento del embrión derivado de la toma de agua, para proceder con el crecimiento y la elongación celular necesarios para completar la protrusión de la radícula (Rosabal *et al.*, 2014). Los procesos bioquímicos involucrados en el debilitamiento del tejido tienen la probabilidad de influir en modificaciones en la pared celular del tejido restrictivo, y puede compartir mecanismos comunes con otros procesos de desarrollo donde la separación de la célula ocurra, como la maduración de la fruta, abscisión o emergencia de raíz lateral (Osborne y Jackson, 1989).

Recientemente la ISTA ha introducido a la emergencia de radícula (ER) como una prueba de vigor en semillas, bajo la teoría de que a medida que las semillas envejecen, acumulan daños y consecuentemente mayor es el tiempo requerido entre la imbibición y la emergencia de la radícula (Powell y Matthews, 2012). La prueba de ER en colza, rábano

y maíz, ya se encuentran consideradas en las reglas internacionales para el análisis de semillas (ISTA, 2018) para efectos de certificación de germinación, entre otras cosas por ser rápida y altamente correlacionada con el porcentaje de plántulas normales (Bodwen y Landais, 2018).

Se han llevado a cabo curvas de progreso de la germinación en semillas de colza consideran la aparición de radícula (ER) para tal efecto, haciendo la valoración en dos laboratorios durante 14 días, tiempo que se define para la prueba de germinación estándar; adicionalmente, se determinó ER utilizando análisis de imagen durante cinco días. El recuento en laboratorio fue altamente predictivo de plántulas normales; las evaluaciones con imágenes generaron relaciones predictivas similares respecto a plántulas normales (Mathews *et al.*, 2018).

Ermis *et al.* (2015a), realizaron un trabajo en el cual evaluaron un recuento temprano de aparición de radícula después del deterioro controlado para predecir la emergencia de plántulas en 12 variedades de tomate, así como un recuento final, en donde se realizaron conteos a los 2, 3 y 4 días después de la siembra, los porcentajes finales de germinación estándar se obtuvieron a los 14 días de conteo. Establecieron que el conteo temprano de aparición de radícula después del deterioro controlado puede ser considerado como un método alternativo y rápido para la evaluación del vigor.

En otro estudio con el mismo enfoque, se evaluó la aparición de radícula a las 72, 96, 120 y 144 horas después de siembra, con la finalidad de valorar si este parámetro se puede utilizar para la valoración de vigor y calidad de plántulas en semillas de puerro (*Allium porrum*). Los cálculos de porcentaje de emergencia de plántulas, tiempo medio de emergencia, peso fresco y seco de plántulas se realizaron después de 16 días, en donde se encontró correlación ($0.7 - 0.8$; $p \leq 0.001$) con el recuento de aparición de radículas (Ermis *et al.*, 2015b).

Otra prueba de vigor utilizada, refiere a la conductividad eléctrica, en donde se evalúa el grado de estructuración de las membranas celulares, mediante la determinación de la cantidad de iones lixiviados en la solución de imbibición, los cuales son inversamente

proporcionales a la integridad de membranas celulares; ha sido propuesta para evaluar vigor bajo el supuesto de que las semillas con bajo vigor generalmente presentan menor velocidad de restaurar la integridad de las membranas celulares (Silva *et al.*, 2013). Es una alternativa simple, rápida, económica para estimar el vigor en semillas y puede ser útil como indicador de uniformidad de la emergencia de plántulas en el campo para diferentes especies como pimiento (*Capsicum annum* L.) (Oliveira y Novembre, 2005) y calabaza (*Cucurbita pepo* L.) (Vieira y Dutra, 2006).

Con base en esta información, el porcentaje de protrusión de radícula al estar fuertemente correlacionado con el porcentaje de plántulas normales, puede ser una herramienta a utilizar no sólo como una prueba de vigor inicial, sino también como una alternativa para predecir del porcentaje de plántulas normales en una prueba de germinación estándar, y por lo tanto ser sinónimo de semillas germinadas en un menor tiempo para fines de certificación comercial de lotes.

LITERATURA CITADA

- Bogdanović, S.; Mladenov, B. y Balešević T. S. (2015). Importance of using certified seed grown plants. *Selekcija i semenarstvo*, 43 (3): 313-316.
- Bray, C. M. (1995). Biochemical processes during the osmopriming of seeds. *In*: Kigel, J. and Galili, G. (eds.) *Seed Development and germination*. Marcel Dekker, New York: pp. 767-789.
- Copeland, O. L. y McDonald, M. B. (2001). *Principles of seed science and technology*. 4th edition, Kluwer Press. New York, USA. 488 p.
- Delouche, J. C. (2002). Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seed News* 6 (6).
Página web: <https://seednews.com.br/edicoes/artigo/2004-germinacion-deterioro-y-vigor-de-semillas-edicao-novembro-2002>. Fecha de consulta: Noviembre, 2018).
- Desai, B. B. (2004). *Seed Handbook, Biology, Production, Processing and Storage*. Second edition. Marcel Dekker, INV. USA. 787 p.
- Demir, I., Ermis, S. Okcu, G. y Matthews, S. (2005). Vigour tests for predicting seedling emergence of aubergine (*Solanum melongena* L.) seed lots. *Seed Science and Technology*, 33: 481-484.
- Ermis, S., Ozden, E. and Demir, I. (2015a). Early radicle emergence count after controlled deterioration (CD) predicts emergence potential better than final standard germination after CD in tomato varieties. *Seed Science and Technology*, 43: 278-283.
- Ermis, S., Karslioglu, M., Ozden, E. and Demir, I. (2015b). Use of a single radicle emergence count as a vigour test in prediction of seedling emergence potential of leek seed lots. *Seed Science and Technology*, 43: 308-312.
- FAO. (2011). *Semillas en emergencias. Manual técnico. Estudio FAO producción y protección vegetal*: 7-12.
- INTA. (2003). *Evaluación de la calidad de las semillas. Prueba de germinación de semillas para granos básicos*. 19 p.
- Rita, S. A.; Yoldijan, A. M.; Craviotto, R. M. y Bisaro, V. (2001). Pruebas de vigor y calidad de semilla de soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 36 (1): 371-179.

- Rosabal, A. L.; Martínez, G. L.; Reyes, G. Y.; Amico, R. J. D. y Núñez, V. M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. Revisión bibliográfica. Cultivos tropicales. 35 (3): 24-35.
- Lamour, A. y Lotz, P. L. A. (2007). The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seedbeds. Ecological Modelling, 201: 536-546.
- Maguire, J. (1962). Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop science, 2: 176-177.
- Mathews, S.; Wagner, M. H.; Kerr, L. y Powell, A. A. (2018). Potential for early counts of radicle emergence and leakage of electrolytes as quick tests to predict the percentage of normal seedlings. Seed Science and Technology, 46 (1): 1-18.
- Mavi, K. (2018). Evaluation of organic priming to improve the emergence performance of domesticated Capsicum species. Seed Science and Technology, 46 (1): 131-137.
- Oliveira, S. R. S. y Novembre, A. D. L. C. (2005). Test de consuctividade eléctrica paea as sementes de pimentao. Revista Brasileira de Sementes, 27 (1): 31-36.
- Osborne, D. J. y Jackson, M. B. (eds.) (1989). Cell separation in plants: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology. Springer-Verlag. Berlin, 35 (1): 449.
- Pérez G., F. y Pita, V. J. M. (2016). Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Universidad Politécnica de Madrid. Hojas divulgadoras. Núm. 2112. 16 p.
- SAGARPA. 2017. Jitomate mexicano. Planeación agrícola nacional. Fecha de consulta: 04/06/19. Página web: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>
- Silva, S. S.; Vieira, R. D.; Grzybowski, C. R.; Carvalho, T. C. y Panobianco, M. (2013). Electrical conductivity of different common bean genotypes. Journal of Seed Science. 35 (2): 216-224.
- SNICS (2017). ¿Qué es en análisis de vigor de la semilla? Página web: <https://www.gob.mx/snics/articulos/que-es-el-analisis-de-vigor-de-la-semilla?idiom=es>. Fecha de consulta: noviembre 2018.

- SNICS. (2018). Certificación de semillas. Página web: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/certificacion-de-semillas>. Fecha de consulta: 20/20/18.
- Viera, R. D. y Dutra, A. S. 2006. Conductividade elétrica en sementes de alôbora híbrido Bárbara. Horticultura Brasileira. 24 (3): 305-308.
- Welbaum, G. E. Bradford, K. J. Yim, K. O. Booth, D. T. y Oluoch, M. O. (1998). Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. Seed Science Research. (8): 161-172.

CAPITULO III. EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

RESUMEN

Durante la evaluación de la calidad de semilla, la certificación de semillas juega un papel importante al asegurar un alto porcentaje de germinación con plántulas vigorosas como garantía de calidad, sin embargo, este proceso suele ser prolongado para las empresas semilleras de acuerdo a la especie de interés. Ante esta inquietud, el objetivo del presente trabajo es acortar el tiempo para dictaminar la certificación de la calidad fisiológica de lotes de semillas en función del porcentaje de protrusión de radícula al encontrar el momento óptimo de correlación con el porcentaje de plántulas normales en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Para ello, se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Semillas e invernadero de la Universidad Autónoma Chapingo en el año 2018, una prueba de germinación estándar, emergencia en charolas bajo condiciones de invernadero y la prueba de conductividad eléctrica en semilla de 25 genotipos de jitomate obtenidas mediante tres formas de separación de semilla. Se calculó el coeficiente de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula de los días transcurridos entre las variables de germinación, emergencia y vigor. Se tomó como indicador el punto de alcance de correlación más alta ($r > 0.8$; $p < 0.001$) del porcentaje de protrusión de radícula con el porcentaje de plántulas normales en la prueba de germinación estándar, que ocurrió al quinto día, momento que puede recomendarse para la emisión del dictamen de certificación. La prueba de conductividad eléctrica identificó a los lotes de semilla separados por fermentación como los de mayor expresión de vigor.

Palabras clave: calidad fisiológica de semillas, conductividad eléctrica, correlación, plántulas normales, vigor.

RADICLE EMERGENCE FOR CERTIFICATION PERCENTAGE GERMINATION IN TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.)

ABSTRACT

During the seed quality evaluation, the seed certification plays an important role by ensuring a high percentage of germination with vigorous seedlings as quality assurance; however, this process tends to be longer for seed companies. Then, the objective of the present research is to reduce the period to certify the physiological seed quality of lots according to the radicle emergence percentage to find the optimal timing of correlation with the percentage of normal seedlings in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). To do so, a standard germination, test of electrical conductivity, and an emergence test in polystyrene trays were evaluated at the seed laboratory and greenhouse conditions, at the Autonomous University of Chapingo in 2018. Seeds of twenty-five tomato genotypes obtained through three methods of seed separation were evaluated. The correlation coefficient between the percentage of radicle emergence and the days passed between the variables of germination, emergence and vigor were calculated. The point of highest correlation ($r > 0.8$; $p < 0.001$) scope was taken as an indicator of the percentage of radicle emergence with the percentage of normal seedlings in the standard germination test, which took place on the fifth day, time that can be recommended for the issuance of the certification. Electrical conductivity test identified the seed lots separated by fermentation as the greatest vigor expression.

Key words: physiological seed quality, electrical conductivity, correlation, normal seedlings, vigor.

INTRODUCCION

En la producción agrícola el uso de semillas de calidad es indispensable, ya que asegurar sus características genéticas, físicas, fitosanitarias y fisiológicas, otorga al productor no solo semilla con capacidad de germinar, emerger, y dar origen a plantas normales y vigorosas (INTA, 2013), sino también a generar plantas con la identidad genética requerida que permita la expresión del potencial de rendimiento en una amplia gama de condiciones de campo (Vieira *et al.*, 2004).

Con el objetivo de garantizar un cultivo vigoroso y uniforme, libre de plagas y enfermedades, que dé como resultado una mejor cosecha y mayores ingresos al productor, es indispensable que la semilla que se utilice sea previamente sometida a un proceso de certificación, que consiste en la verificación de las mismas con estrictas normas de calidad (SNICS, 2018), en donde se llevan a cabo análisis de laboratorio e inspección en campo para comprobar la calidad de semillas desde su origen, durante su producción en campo, acondicionamiento y hasta la etapa de comercialización (Bogdanović, 2015). Comúnmente, para fines de comercialización, las etiquetas de certificación gubernamentales o bien de las empresas, reportan tres parámetros básicos de calidad que son la pureza física, calidad genética declarada por la variedad, y la calidad fisiológica basada en el porcentaje de germinación (SNICS, 2018).

La certificación de la calidad fisiológica de semillas se fundamenta principalmente en la prueba de germinación estándar, que es llevada bajo condiciones favorables de temperatura, humedad y sanidad en laboratorio, por lo que los resultados de la misma en almácigo ocasionalmente son menores a los porcentajes reportados por dicha evaluación (Hyatt y Tekrony, 2008). En esta prueba, el porcentaje de plántulas normales es representado por aquellas plántulas que presenten todas sus estructuras esenciales desarrolladas, como raíz, hoja, y tallo, valor que es fundamental para la certificación, pues éste es considerado para la industria como el porcentaje de germinación del lote evaluado, aún cuando una semilla se considera germinada desde el momento en que emerge la radícula (Rosabal *et al.*, 2014).

Con base en lo anterior y debido a que las pruebas de calidad y vigor tienden a ser prolongadas, situación que provoca la demora en su dictamen dentro de las empresas semilleras, la ISTA ha introducido recientemente la protrusión o emergencia de radícula (ER) como una alternativa que predecir el porcentaje de plántulas normales, bajo el principio de que a medida que envejecen las semillas, acumulan daños, y mientras mayor es el daño acumulado, mayor es el tiempo requerido para su reparación y el periodo de demora entre la imbibición y emergencia de radícula (Powell y Matthews, 2012), asociándose de esta manera con el porcentaje de plántulas normales. En especies como colza (Khajeh *et al.*, 2010; Matthews *et al.*, 2018), rábano (Mavi *et al.*, 2016) y maíz (Matthews *et al.*, 2011), la ISTA ha propuesto el uso de la ER como un parámetro eficiente para predecir el porcentaje de plántulas normales en un lote de semillas (ISTA, 2018).

La prueba de conductividad eléctrica (CE) simula el comportamiento de los resultados que pueden afectar el vigor de las semillas en el establecimiento de plántulas en campo (Comiotto *et al.*, 2011), asociada al flujo de solutos (aminoácidos, azúcares) y electrolitos (principalmente potasio) a través de las membranas celulares (Vidigal *et al.*, 2006), mediante la determinación de iones lixiviados en la solución de imbibición (Silva *et al.*, 2013), por lo que los lotes con alta CE en semillas, indican bajo vigor con emergencia pobre en campo (Vidigal *et al.*, 2006).

La prueba de germinación estándar en jitomate consta de una evaluación de 14 días (ISTA, 2018), periodo que implica inversión de tiempo y recursos, además de un procesamiento previo para que la semilla pueda ser envasada y entregada al distribuidor o en el mejor de los casos al agricultor, por ello, varios investigadores han trabajado para encontrar alternativas que permitan la entrega del producto certificado en el menor tiempo. Con la finalidad de aportar bases para lograr lo antes mencionado, en el presente trabajo se planteó reducir el tiempo para dictaminar la certificación de calidad fisiológica en lotes de semillas en función del porcentaje de protrusión de radícula que permita pronosticar el porcentaje de plántulas normales en una prueba de germinación estándar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Semillas e invernaderos del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, situada a 19°29' de latitud Norte y 98°51' de longitud Oeste, con una altitud de 2,250 msnm.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de 25 genotipos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) producidas por el Programa de Mejoramiento Genético de Jitomate de la Universidad Autónoma Chapingo entre 2014 y 2018, bajo condiciones de invernadero en sistema hidropónico.

La semilla utilizada se extrajo manualmente y la eliminación del mucílago de la producida entre 2014 y 2017, se llevó a cabo con agua corriente por lo que se denomina para fines de este estudio “separación simple. Las semillas obtenidas de frutos cosechados en septiembre de 2018, fueron sometidas a un proceso de “separación por fermentación” durante 48 horas, para proceder finalmente a lavado con agua corriente. Finalmente, las semillas extraídas de frutos cosechados en octubre de 2018, fueron separadas mediante fermentación por 48 horas y lavadas con agua corriente; a continuación, se sometieron a un remojo en cloro al 1 % (Flores *et al.*, 2008) durante 10 minutos para proceder con un lavado por 10 minutos con agua corriente; enseguida se aplicó fosfato de sodio monobásico ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – reactivos Meyer) al 10 % durante 30 minutos, para finalizar con un lavado por 10 minutos con agua corriente. Para identificación en el presente estudio, esta semilla fue denominada como “separación con fermentación y desinfección” (Cuadro 1). En las tres oportunidades, la semilla se secó a temperatura ambiente a la sombra, colocándola sobre toallas de papel absorbente durante 48 horas.

Cuadro 1. Clasificación de genotipos evaluados por forma de separación de semilla.

	Forma de separación		
	1. Separación simple	2. Separación con fermentación	3. Separación con fermentación y desinfección
Genotipos	H 13-37	L 14	L 14
	L 14	L 28	L 31
	L 28	L 31	L 47 S-1
	L 31	L 47 S-1	L 51
	L 47 S-1	L 51	L 58
	L 51	L 58	L 65
	L 58	L 65	L 72
	L 65	L 72	L 74
	L 72	L 74	L 77 H-1
	L 74	L 77-A	L 87
	L 77-A	L 77 H-1	L 3
	L 77 H-1	L 87	L 35
	L 87	L 11-1	L 47 B-1
	L 11-1	L 3	L 52
	L 3	L 35	L 9
	L 35	L 47 B-1	RF12
	L 47 B-1	L 52	RF48
	L 52	L 9	RF69
	L 9	MERMAID	RF81
	MERMAID	RF12	L 11-3
	RF12	RF48	
	RF48	RF69	
	RF69	RF81	
	RF81		

Pruebas de calidad fisiológica de semillas

Prueba de germinación estándar

Se realizaron tres pruebas de germinación estándar para cada forma de separación. La unidad experimental fue una caja Petri con papel filtro de porosidad media humedecida con agua destilada, donde fueron colocadas 100 semillas por repetición; las cajas se introdujeron en una cámara de germinación Seedburo® 1022 W JACKSON a 25 °C, humedad relativa al 90 % y luz fluorescente, por un periodo de 14 días. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, y se procedió a evaluar lo siguiente:

Porcentaje de protrusión de radícula (PER): se realizó el conteo diario de semillas germinadas (aquellas con protrusión de radícula), hasta los 14 días, con base en lo establecido por la ISTA (2018).

Porcentaje de germinación (G): se contabilizó el número de semillas germinadas desde la siembra hasta los 14 días, tomando como dato la sumatoria del número de plántulas normales y anormales al final de la prueba.

Porcentaje de plántulas normales (PNL): se contabilizó el porcentaje de plántulas que presentaron todas las estructuras esenciales bien desarrolladas (raíz, tallo, hojas sin malformaciones).

Porcentaje de plántulas anormales (PAL): se contabilizó el porcentaje de plántulas que no presentaron todas las estructuras esenciales bien desarrolladas o con alguna malformación de raíz, tallo u hoja.

Porcentaje de semillas no germinadas (SNGL): se contabilizó el porcentaje de semillas que no emitieron alguna de las estructuras esenciales del embrión.

Variables evaluadas de vigor en laboratorio

Índice de velocidad de germinación: se contabilizó el número de semillas emergidas a lo largo de la prueba, calculado mediante la expresión siguiente propuesta por Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^n (x_i / d_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde n= número de conteos realizados durante la prueba; x_i =número de semillas germinadas entre el conteo $i-1$ y el conteo i ; d_i =número de días después de la siembra en el conteo i .

A los catorce días de establecida la prueba, se tomó una muestra aleatoria de diez plántulas en cada unidad experimental a las cuales se les cuantificó la Longitud de la

parte aérea de la plántula (LPAL en cm) y la Longitud de raíz de la plántula (LRL en cm), así como Peso fresco de la parte aérea de la plántula (PFAL en g) y Peso fresco de la raíz de la plántula (PFRL en g), estos últimos con el auxilio de una balanza digital OHAUS® modelo H2716. Finalmente, se cuantificaron en Peso seco de la parte aérea de la plántula (PSAL en mg) y Peso seco de la raíz de la plántula (PSRL en mg) con una balanza analítica, para lo cual previamente las muestras fueron colocadas en una estufa a 110 ° C THRMSTT modelo LW201C/A durante 48 horas hasta obtener peso constante.

Prueba de emergencia en invernadero

Para cada forma de “separación de semilla”, se establecieron pruebas de emergencia en charolas de poliestireno de 200 cavidades en condiciones de invernadero con turba Sunshine® Mix 3 como sustrato. Una vez realizada la siembra, las charolas se taparon con plástico negro para incrementar la temperatura y acelerar el proceso de germinación, el cual se mantuvo hasta la emergencia de las plántulas con monitoreos constantes hasta los 14 días. Cada unidad experimental consistió de 100 semillas distribuidas en una por cavidad, y se colocaron bajo un diseño completamente al azar en donde se evaluaron las siguientes variables:

Porcentaje de emergencia (E): Se contabilizó el número de plántulas emergidas desde la siembra de semillas hasta el día 14, tomando como dato la sumatoria al final de la prueba.

Porcentaje de plántulas normales (PNI): Se calculó el porcentaje de plántulas emergidas en las charolas que presentaron todas las estructuras esenciales.

Variables evaluadas de vigor en invernadero

Índice de velocidad de emergencia (IVE): se calculó mediante la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum_{i=1}^n (x_i / d_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde n = número de conteos realizados durante la prueba; x_i =número de semillas germinadas entre el conteo $i-1$ y el conteo i ; d_i =número de días después de la siembra en el conteo i .

Con base en la metodología aplicada para la valoración de vigor en laboratorio, se evaluaron las siguientes variables: Longitud de la parte aérea de la plántula (LPAI en cm), Longitud de raíz de la plántula (LRI en cm), Peso fresco de la parte aérea de la plántula (PFAI en g), Peso fresco de la raíz de la plántula (PFRI en g), Peso seco de la parte aérea de la plántula (PSAI en mg) y Peso seco de la raíz de la plántula (PSRI en mg).

Prueba de conductividad eléctrica (CE)

La medición de la conductividad eléctrica (CE) se realizó en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas de cada genotipo provenientes de tres formas de separación. Se tomó previamente el peso de cada muestra y posteriormente se sometieron a imbibición con 16 mL de agua desionizada en viales de 20 mL de capacidad durante 24 horas a temperatura ambiente. La conductividad eléctrica se midió con un conductímetro Hanna HI 255 en $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, para lo cual se introdujeron los electrodos dentro de los viales que contenían el soluto de las semillas embebidas.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en laboratorio e invernadero se realizaron de manera independiente, análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.5$), donde los factores de variación fueron los genotipos, formas de separación de semilla y la interacción entre ellos. Finalmente, se realizaron correlaciones de Pearson entre los días de protrusión de radícula y las variables de germinación y vigor evaluadas en laboratorio e invernadero. Todos los análisis se llevaron a cabo con la asistencia del paquete estadístico SAS (Statistic Analysis System, 2002), versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de germinación estándar

Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza entre genotipos (G) muestran efecto significativo ($p \leq 0.01$) para todas las variables de germinación y vigor, situación similar ocurre en las formas de separación (S). El mismo comportamiento se aprecia en la interacción, donde todas las variables presentaron un comportamiento diferencial ($p \leq 0.01$), lo que implica que hay un comportamiento particular de los genotipos en función del año y forma en que fueron producidos (Cuadro 2).

Con excepción de LRL y PFRL, los resultados del coeficiente de variación de las variables restantes muestran valores por abajo del 18.35 %, lo que indica confiabilidad de los resultados con base en lo que diversos investigadores han concluido, ya que definen por abajo del 5 % la confiabilidad es muy buena, 5 a 15 % es buena, de 15 a 20 % aceptable y mayor a 20 % no recomendable (Reyes, 1990; INE, 2016).

Cuadro 2. Cuadrados medios de germinación y variables de vigor de semillas en genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación y su interacción, evaluadas en condiciones de laboratorio.

FV ^y	GL	G	PNL	PAL	SNGL	IVG	LRL	LPAL	PFRL	PSRL	PFAL	PSAL	CE
G	24	3052**	3143**	311**	3053**	489**	6.20**	1.2**	4622**	35.7**	12842**	89.4**	224**
S	2	4139**	3429**	177**	4151**	549**	193**	34.5**	1854**	20**	229295**	61.9**	1653**
GxS	40	1261**	1495**	163**	1259**	146**	3.9**	0.9**	7273**	40.9**	20307**	103.6**	149**
Error	201	41	52.1	26.3	41.9	4.9	0.9	0.5	255	0.018	317	0.85	18.9
Total	267	8493.9	8119.1	677.3	8504.9	1188.9*	204	37.1	14004	96.6	262761	255.75	2044.9
CV (%)		9.9	13.8	39	18.5	12.1	37.7	17.3	40.2	4	9.3	8.46	18.35
Media		65.0	51.9	13.1	34.9	18.2	2.6	4.0	39.6	3.4	189.6	10.91	23.74

Significancia; * ($p \leq 0.05$) ; ** ($p \leq 0.01$); ^{NS}: No significativo con $\alpha = 0.05$; ^yFV: Fuente de variación; G: Genotipo; S: Forma de separación; G*S: Genotipo*Forma de separación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; G: Porcentaje de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación; PNL: Porcentaje de plántulas normales; PAL: Porcentaje de plántulas anormales; SNGL: Porcentaje de semilla no germinada; LRL: Longitud de raíz; LPAL: Longitud de parte aérea; PFRL: Peso fresco de raíz; PSRL: Peso seco de raíz; PFAL; Peso fresco de la parte aérea de la plántula ; PSAL: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica.

Comparación de medias

Los resultados de la prueba de comparación de medias de doce variables de calidad fisiológica de semillas de 25 genotipos evaluados en laboratorio (Cuadro 3), muestran que el híbrido H13-37 presentó los valores más altos ($p \leq 0.05$) en G (100 %), IVG (47.8), PNL (100), sin embargo, en LPAL el comportamiento fue el mismo con respecto a la mayoría de los genotipos, exceptuando tres líneas (MERMAID, L87 y L11-3); asimismo, cuatro líneas presentaron los valores más bajos de G, particularmente las L11-3 y L74, las que además registraron los valores más bajos de PNL. La línea L11-3 mostró los valores más bajos de IVG (7.9).

Referente a conductividad eléctrica, nueve líneas presentan los valores estadísticamente mayores, de las cuales L74 y L47S-1 mostraron valores de 31.7 y 31.6 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, respectivamente, en tanto que siete líneas reportan los valores más bajos, de las que destaca el híbrido H13-37 ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), lo cual coincide con los resultados de calidad del mismo, pues al mostrar niveles bajos de pérdida de electrolitos (CE alta), ello implica una característica de semillas vigorosa, capaces de producir plántulas normales, como ha sido observado en algunos estudios con repollo (Demir *et al.*, 2008) y rábano (Demir *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Comparación de medias de germinación y variables de vigor en semillas de genotipos de jitomate en condiciones de laboratorio.

GENOTIPO	G (%)	PNL (%)	PAL (%)	SNGL (%)	IVG	LRL (cm ⁻¹)	LPAL (cm ⁻¹)	PFRL (mg ⁻¹)	PSRL (mg ⁻¹)	PFAL (mg ⁻¹)	PSAL (mg ⁻¹)	CE (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)
H13-37	100.0 a ^t	100.0 a	0.0 h	0.0 m	47.8 a	1.9 c-h	4.9 a	13.0 e	1.0 l	138.0 jk	5.0 l	13.0 i
L3	91.1 ab	83.1 b	11.0 c-g	5.7 lm	30.8 b	3.1 a-f	4.07 abc	41.0 cd	4.6 c	180.3 d-g	9.6 fgh	20.2 e-i
L77H-1	75.9 cde	64.3 cde	11.5 c-g	24.08 ijk	22.1 def	4.0 a	3.8 abc	26 cde	3.3 e	180.3 d-g	10.6 ef	17.8 f-i
L52	80.0 cd	72.6 bc	7.5 fgh	19.7 jk	25.3 cd	3.5 a-d	4.2 abc	88.6 a	2.6 g	226.6 abc	7.6 jk	27.07a-e
L14	75.8 cde	64.1 cde	11.6 c-g	24.1 ijk	21.9 d-g	2.9 a-g	4.2 abc	47.6 bc	3.0 f	230.8 ab	10.6 ef	24.2 b-g
RF12	86.0 bc	68.3 cd	17.7 a-d	13.9 kl	24.3 de	3.7 ab	3.8 abc	71.8 ab	3.6 d	198.3 c-f	11.3 de	22.1 c-h
MERMAID	77.3 cde	62.5 c-f	14.8 b-f	22.6 ijk	28.4 bc	1.6 fgh	3.4 c	30.5 cde	2.5 gh	158.0 g-k	8.0 ijk	15.7 hi
L31	72.1 d-g	58.5 d-g	13.5 c-g	27.7 g-j	16.8 ijk	3.6 abc	4.4 abc	36.6 cde	3.3 e	224.3 abc	10.0 efg	22.7 b-h
L9	59.5 hi	50.1 gh	9.3 c-g	40.5 ef	17.7 hij	3.06 a-f	4.1 abc	39.3 cde	2.6 g	228.6 ab	11.3 de	17.6 ghi
L65	77.6 cd	53.7 efg	23.9 a	22.3 jk	17.3 ijk	2.2 b-h	3.5 bc	27.6 cde	9.3 a	174.3 e-i	18.0 a	21.8 c-h
RF81	77.5 cde	63.1 cde	14.3 b-g	22.5 ijk	18.3 g-j	3.3 a-e	3.9 abc	36.3 cde	3.3 e	234.6 a	10.6 ef	22.5 b-h
L77A	75.7 c-f	64.5 cde	11.2 c-g	24.2 h-k	19.2 f-i	1.9 c-h	4.7 ab	45.0 bc	3.5 de	238.7 a	12.5 cd	18.2 f-i
L72	73.6 def	64.5 cde	9.1 d-g	26.3 hij	16.6 ijk	3.3 a-e	4.4 abc	36.6cde	3.6 d	201.0 b-e	8.6 ghij	28.5 a-d
L47S-1	53.3 ij	47.1 ghi	6.1 gh	46.6 de	13.7 klm	2.9 a-g	3.6 bc	32 cde	2.6 g	168.6 f-i	15.0 b	31.6 a
L35	59.7 hi	37.1 ijkl	22.6 ab	40.2 ef	17.1 ijk	2.67 a-h	3.8 abc	98.3 a	2.1 ij	166.6 g-j	8.0 ijk	23.4 b-g
L47B-1	46.8 jkl	33.9 jkl	12.9 c-g	53.0 bcd	10.3 mn	2.1 b-h	4.05 abc	21.1 cde	1.9 k	223.8 abc	11.2 de	29.7 ab
L28	58.1 hi	40.2 h-k	17.8 abc	41.8 ef	1.8 ijk	1.2 h	4.2 abc	22.5 cde	2.0 jk	180 efgh	9.5 fghi	22.3 c-h

Cuadro 3. Continuación.

GENOTIPO	G (%)	PNL (%)	PAL (%)	SNGL (%)	IVG	LRL (cm ⁻¹)	LPAL (cm ⁻¹)	PFRL (mg ⁻¹)	PSRL (mg ⁻¹)	PFAL (mg ⁻¹)	PSAL (mg ⁻¹)	CE (μS/cm ⁻¹)
L87	66.6 e-h	41.2 hij	25.4 a	33.3 f-i	20.3 f-i	2.7 a-h	3.4 c	26.0 cde	2.0 jk	164.3 g-k	8.3 hijk	18 f-i
RF69	621.4 ghi	50.3 fgh	11.0 c-g	38.5 efg	14.9 jkl	2.4 a-h	4.7 ab	40.3 cd	8.0 b	210.3 a-d	10.0 efg	26.0 a-e
L11-3	33.0 m	16.0 m	17.0 a-e	67.0 a	7.9 n	1.8 e-h	3.4 c	25.0 c-e	3.0 f	150 hijk	7.0 k	21.3 d-h
RF48	41.8 klm	29.8 jkl	12.0 c-g	58.1 abc	10.2 mn	1.6 d-h	4.1 abc	33.6 cde	3.3 e	169.3 f-i	17.3 a	28.8 a-c
L58	36.6 lm	28.3 kl	8.3 fgh	63.3 ab	10 mn	1.3 gh	3.7 abc	31.0 cde	2.6 g	147.6 ijk	9.3 f-i	25.2 a-f
L74	33.9 m	25.4 lm	8.5 e-h	66.08 a	10.2 mn	1.7 e-h	3.8 abc	28.0 cde	2.3 hi	155 ghijk	9.6 f-h	31.7 a
L51	51.9 ijk	37.3 i-l	14.5 b-g	48.0 cde	12.8 lm	2.1 b-h	3.9 abc	34.0 cde	3.0 f	179.3 e-h	13.6 bc	26.9 a-e
L11-1	64.8 fgh	54.2 efg	10.6 c-g	35.1 fgh	21.3 e-h	1.7 e-h	4.1 abc	17.5 de	2.5 gh	135.0 k	12.5 cd	20.8 e-h
DMSH	10.9	12.1	8.6	10.9	10.9	1.6	1.1	26.	0.2	30.0	1.5	7.3

ⁱMedias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05); G: Porcentaje de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación; PNL: Porcentaje de plántulas normales; PAL: Porcentaje de plántulas anormales; SNGL: Porcentaje de semilla no germinada; LRL: Longitud de raíz; LPAL: Longitud de parte aérea; PFRL: Peso fresco de raíz; PSRL: Peso seco de raíz; PFAL; Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSAL: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

El comportamiento de G, PNL e IVG es similar en las tres formas de separación de semilla evaluadas (Cuadro 4), en donde las semillas extraídas y sometidas a fermentación presentaron los valores más altos y aquellos sometidos a desinfección los más bajos. Un comportamiento similar se observa en la mayoría de las variables restantes de vigor, debido a que PFRL, PSRL y PSAL también tuvieron su mejor expresión en semilla de la separación dos; adicionalmente, la semilla proveniente de la separación tres mostró baja calidad, estas diferencias de vigor pueden adjudicarse a la edad de la semilla al existir una reducción en el contenido total de reservas, como carbohidratos y proteínas, así como del genotipo (Cruz *et al.*, 2003), así como de la forma de separación utilizada, en el cual al hacer uso de la fermentación se facilita la remoción y eliminación del mucilago. Bajo estas circunstancias, los resultados previamente referidos coinciden con los obtenidos en la prueba de conductividad eléctrica, en donde el más alto corresponde a la semilla separada vía fermentación con desinfección y el más bajo separada vía fermentación únicamente, es decir que ésta última es una semilla de mejor calidad en comparación con la separación uno y tres.

La diferencia del comportamiento por la forma de separación de semillas puede ser debida a diversos factores como lugar de producción, ambiente de producción, manejo agronómico e inclusive métodos de separación. En este contexto, la semilla que fue separada del mucílago mediante un proceso de fermentación, la actividad bacteriana no promovió un efecto negativo en la calidad (George, 2010) en comparación a la aplicación de sales con la que se procesó la semilla vía separación, fermentación y adición de fosfato de sodio, producto que pudo haber generado daño en la cubierta seminal o inclusive en las membranas celulares, reduciendo el porcentaje de germinación y expresión vigor. El argumento previo se fortalece con los resultados de CE (Cuadro 4), en donde el valor más alto pudo ser resultado de la adición de fosfato de sodio, mientras que el valor más bajo fue en semilla nueva y separada mediante fermentación, al mismo tiempo que la semilla con mayor envejecimiento manifestó un comportamiento intermedio; dichos valores difieren con la lixiviación y están directamente relacionados a la integridad de la membrana celular (Vieira *et al.*, 2004). Por otra parte, la semilla con

separación simple fue extraída manualmente y separada con agua corriente; sin embargo, fue producida entre el 2014 y 2017, es decir dos años antes que aquellos provenientes por separación dos y tres que fueron producidas en 2018, situación donde probablemente la edad pudo haber tenido un efecto de deterioro y por tanto se abatió la calidad de la semilla al dañar las membranas en muchas células, que conlleva a niveles más altos de pérdida de calidad de semilla (McDonald, 1999).

Cuadro 4. Comparación de medias de germinación y variables de vigor de semillas de genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación evaluadas en condiciones de laboratorio.

Forma de separación	G (%)	PNL (%)	PAL (%)	SNGL (%)	IVG	LRL (cm ⁻¹)	LPAL (cm ⁻¹)	PFRL (mg ⁻¹)	PSRL (mg ⁻¹)	PFAL (mg ⁻¹)	PSAL (mg ⁻¹)	CE (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)
1	63.0 b ^t	51.7 b	11.2 b	36.9 b	18.4 b	2.2 b	4.6 a	42.0 a	2.9 c	238 a	9.9 b	23.2 b
2	72.0 a	58.6 a	14.2 a	27.1 c	20.8 a	1.4 c	3.9 b	40.3ab	3.9 a	176 b	11.3 a	19.7 c
3	58.0 c	44.4 c	14.2 a	41.3 a	14.9 c	4.4 a	3.3 c	35.9 b	3.3 b	146 c	11.5 a	28.9 a
DMSH	2.2	2.5	1.8	2.2	0.7	0.3	0.2	5.6	0.04	6.3	0.3	1.5

^tMedias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05); G: Porcentaje de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación; PNL: Porcentaje de plántulas normales; PAL: Porcentaje de plántulas anormales; SNGL: Porcentaje de semilla no germinada; LRL: Longitud de raíz; LPAL: Longitud de parte aérea; PFRL: Peso fresco de raíz; PSRL: Peso seco de raíz; PFAL: Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSAL: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Prueba de emergencia en invernadero

Análisis de varianza

En el experimento realizado en condiciones de invernadero, los resultados del análisis de varianza entre genotipos (G) muestran un efecto significativo ($p \leq 0.01$) para todas las variables de germinación y vigor, situación similar ocurre en las formas de separación (S). El mismo comportamiento se aprecia en la interacción, donde todas las variables presentaron diferencias ($p \leq 0.01$), lo que implica que hay una respuesta particular de los genotipos en función del año y forma en que fueron producidos (Cuadro 5). De manera general los coeficientes de variación están por debajo del 19 %, con excepción de las variables PRSI y PSAI, donde al momento de extraer la plántula del sustrato probablemente muchas raíces fueron trozadas; estos valores de CV indican una buena confiabilidad de los resultados obtenidos.

Cuadro 5. Cuadrados medios de emergencia y variables de vigor de semillas en genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación y su interacción, evaluadas en condiciones de invernadero.

FV	GL	E	PNI	SNGI	IVE	LRI	LPAI	PFRI	PRSI	PFAI	PSAI	CE
G	24	3035**	2842**	2842**	88.5**	6.23**	1.85**	89665**	3882.8**	237259**	4656**	224**
S	2	4141**	3598**	3598**	425**	195**	140**	538229**	138014**	4921503**	13919**	1653**
GxS	40	1205**	1314**	1314**	40.4**	1.61**	1.29**	66538**	3260**	187406**	3236**	149**
Error	201	55.7	56	56.4	1.31	0.5	0.2	568.7	134.5	1211	456	18.9
Total	267	8436.7	7810	7810.4	555.2	203.34	143.34	695000.7	145291.3	5347379	22267	2044.9
CV		16.2	16.1	14.0	15.8	16.5	12.7	17.6	29.9	6.5	40.3	18.3
Media		45.9	46.4	53.5	7.2	4.2	3.5	134.7	38.7	527.9	52.8	23.7

Significancia; * ($p \leq 0.05$) ; ** ($p \leq 0.01$); ^{NS}: No significativo con $\alpha = 0.05$; ^yFV: Fuente de variación; G: Genotipo; S: Forma de separación; GxS: Genotipo*Forma de separación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación; E: Porcentaje de emergencia; IVE: Índice de velocidad de emergencia; PNI: Porcentaje de plántulas normales; SNGI: Porcentaje de semilla no germinada; LRI: Longitud de raíz; LPAI: Longitud de parte aérea; PFRI: Peso fresco de raíz; PSRI: Peso seco de raíz; PFAI: Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSAI: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica.

Comparación de medias

Los resultados de la prueba de comparación de medias de emergencia y vigor en invernadero (Cuadro 6), muestran que los genotipos H13-37, L3 y L77 H1 expresaron los mayores valores ($p \leq 0.05$) del porcentaje de emergencia (E) y porcentaje de plántulas normales (PNI), al mismo tiempo que siete líneas presentaron los valores más bajos, entre las cuales las líneas L11-1, L51 y L74 tienen numéricamente los menores resultados.

Con respecto a las variables restantes de vigor, en LRI, LPAI y PSAI, aproximadamente 32, 52 y 24 %, respectivamente, de las líneas evaluadas, corresponden a los valores más altos. De las variables PFRI, PFAI y PSRI, se aprecia una mayor discriminación entre los genotipos. Referente a conductividad eléctrica, siete de los 25 genotipos evaluados presentaron los menores valores de CE, entre los cuales numéricamente destaca el híbrido H13-37 ($13 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), al mismo tiempo que 36 % de los materiales, presentan cierto deterioro en función de dichos valores, apreciándose L74 y L47S-1 (31.7 y $31.6 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, respectivamente), con los resultados numéricamente más altos; dicho comportamiento pueda deberse a factores externos a la metodología, los cuales afectan los resultados como es la temperatura, periodos de imbibición (Dutra y Vieira, 2006), número de semillas (Vieira *et al*, 2002), entre otros.

Con base en los resultados previamente referidos, el híbrido H13-37 y la línea L-3 muestran en general el mejor comportamiento, mientras que la línea L11-3 es la de menor calidad. En este contexto, del mismo modo que en la prueba de germinación estándar, las evaluaciones en invernadero permitieron distinguir entre la calidad de semilla de los genotipos evaluados, expresada a través de su porcentaje de emergencia y vigor; sin embargo, cabe mencionar que existe una mayor discriminación con respecto a los resultados de laboratorio, comportamiento que obedece al genotipo, pero particularmente a las condiciones ambientales, de modo que en el invernadero es posible detectar de un modo más contundente aquellas plántulas con mejor calidad

Cuadro 6. Comparación de medias de emergencia y variables de vigor en semillas de genotipos de jitomate evaluadas en condiciones de invernadero.

GENOTIPO	E (%)	PNI (%)	IVE	LRI (cm ⁻¹)	LPAI (cm ⁻¹)	PFRI (mg ⁻¹)	PSRI (mg ⁻¹)	PFAI (mg ⁻¹)	PSAI (mg ⁻¹)	CE (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)
H13-37	84.0 a ⁱ	84.0 a	13.8 a	4.3 cdef	3.1 d-h	167.5 cde	61.7 b-e	367.5 ij	32.0 def	13.0 i
L3	77.6 a	77.6 a	12.4 ab	5.1 abc	4.0 ab	140.0 c-h	42.9 d-h	690.6 bc	88.0 ab	20.2 e-i
L77H-1	73.8 ab	73.8 ab	11.2 bc	3.7 d-h	3.7 a-g	116.6 f-j	42.4 e-h	535.8 fg	56.0 b-f	17.8 f-i
L52	65.0 bc	65 bc	11.4 bc	5.0 abc	4.0 abc	108.6 g-k	46.6 d-g	624.3 de	74.3 abc	27.0 a-e
L14	63.3 bcd	63.3 bcd	10.7 bc	5.0 abc	3.8 a-f	486.6 a	62.3 bcd	740.0 b	77.0 abc	24.2 b-g
RF12	61.6 bcd	61.6 bcd	10.6 bc	4.8 b-e	3.9 a-d	100.0 h-l	28.1 g-k	639.0 cd	65.5 bcd	22.0 c-h
MERMAID	59.5 cde	59.5 cde	10.2 cd	6.0 a	3.2 d-h	315.0 b	95.5 a	820.0 a	75.5 abc	15.7 hi
L31	53.0 cdef	53.0 c-f	6.5 e-h	3.6 e-i	3.3 c-h	128.0 e-h	37.6 f-i	493.0 gh	58.0 b-e	22.7 b-h
L9	51.8 d-g	51.8 d-g	8.5 de	3.8 d-h	3.5 a-g	79.3 j-m	76.9 ab	549.0 fg	107.0 a	17.6 ghi
L65	48.8 e-h	48.8 e-h	5.6 f-i	2.8 ghi	3.0 gh	55.0 mn	10.3 kl	356.6 ij	38.0 def	21.8 c-h
RF81	48.5 e-h	48.5 e-h	7.9 e	5.1 abc	3.3 b-h	153.0 c-f	37.4 f-i	580.0 ef	53.0 b-f	22.5 b-h
L77A	46.5 f-i	46.5 f-i	8.3 de	4.0 c-g	3.7 a-g	120.0 f-i	44.8 d-g	538.7 fg	44.0 cdef	18.2 fghi
L72	42.1 f-j	42 f-j	5.2 ghij	3.4 f-i	3.1 fgh	58.3 mn	7.6 l	376.6 ij	42.0 cdef	28.5 a-d
L47S-1	40.5 f-j	40.5 f-j	7.3 ef	4.9 a-d	3.8 a-e	174.0 cd	45.5 d-g	690.8 bc	59.0 b-e	31.6 a
L35	40.3 g-j	40.3 g-j	5.6 fghi	4.4 b-f	3.1 e-h	143.0 c-g	39.0 fgh	506.6 gh	43.0 c-f	23.4 b-g
L47B-1	39.6 g-k	39.6 g-k	5.6 fghi	4 c-g	3.3 b-h	85.8 j-m	33.6 f-j	538.0 fg	45.0 cdef	29.7 ab
L28	37.7 h-k	37.7 h-k	5.7 fghi	4.4 b-f	4.18 a	137.5 d-h	59.5 b-e	353.7 ij	46.5 cdef	22.0 c-h
L87	37.0 h-l	37.0 h-l	5.9 f-h	4.1 c-f	2.7 hi	69.0 klm	19.0 ijkl	325.0 j	35.5 def	10.0 f-i

Cuadro 6. Continuación.

GENOTIPO	E (%)	PNI (%)	IVE	LRI (cm ⁻¹)	LPAI (cm ⁻¹)	PFRI (mg ⁻¹)	PSRI (mg ⁻¹)	PFAI (mg ⁻¹)	PSAI (mg ⁻¹)	CE (μS/cm ⁻¹)
RF69	34.8 i-m	34.8 i-m	5.1 hij	5.0 abc	4.0 abc	178.3 c	52.0 cdef	715.0 b	58.6 b-e	26.0 a-e
L11-3	30.0 j-m	30.0 j-m	3.0 k	2.4 i	2.1 i	20.0 n	9.0 kl	250.0 k	21.0 f	21.0 d-h
L58	25.0 lm	3.0 k	25.0 lm	75.0 ab	4.4 b-f	125.0 fgji	28.0 g-k	593.0 def	29.6 def	25.0 a-f
L74	23.6 m	23.6 m	3.5 jk	2.7 hi	3.5 a-g	56.6 mn	12.6 kl	373.3 ij	36.0 def	31.7 a
L51	23.6 m	23.6 m	3.8 ijk	3.3 fghi	3.6 a-g	65.1 lm	15.6 jkl	399.0 i	29.0 ef	26.9 a-e
L11-1	22.6 m	37.0 h-l	7.1 e-g	5.5 ab	4.2 a	176.0 cd	67.7 bc	363.7 ij	35.1 def	20.8 e-h
DMSH	12.5	12.6	1.9	1.1	0.7	40.2	19.5	58.7	36.0	7.34

ⁱMedias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05), G: Porcentaje de germinación; IVG: Índice de velocidad de germinación; PNI: Porcentaje de plántulas normales; LRI: Longitud de raíz; LPAI: Longitud de parte aérea; PFRI: Peso fresco de raíz; PSRI: Peso seco de raíz; PFAI: Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSAI: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

El comportamiento de E, PNI, LRI, LPAI y PFAI es similar en los tres métodos de separación, en virtud de que la separación dos presenta los valores más altos ($p \leq 0.05$), mientras que el tres los más bajos (Cuadro 7). En las variables de vigor restantes, se muestra un comportamiento de regular a bueno de las semillas de con separación uno y dos, debido a que en IVE y PSAI se aprecian con los mayores resultados, mientras que en PRFI y PSRI la separación uno fue el mayor seguido por la dos. Cabe destacar que en todas las variables el menor comportamiento se expresó de las semillas provenientes de la separación tres, a pesar de ser la más nueva, esto probablemente como resultado del procesamiento al que sometió durante la separación del mucílago, donde fue utilizada una técnica con fosfato de sodio, que pudo haber generado un daño corrosivo en las estructuras de la semilla afectando su capacidad de germinación, como sucedió en semillas de *O. pumilum* Lindl, en donde al adicionar hipoclorito de sodio disminuyó en un 29 % la viabilidad de las mismas (Álvarez *et al.*, 2006).

Los resultados previamente referidos coinciden con los obtenidos en la prueba de conductividad eléctrica, en donde el más alto corresponde a la semilla de la separación tres y el más bajo a la separación dos, es decir que ésta última es una semilla de mejor calidad en comparación con la producida por separación uno y tres, coincidiendo con los resultados obtenidos en laboratorio.

Estudios en varios cultivos, incluidas especies de semillas pequeñas, han proporcionado evidencia de que la CE del lixiviado de una sola semilla puede ser indicador tanto de la germinación estándar como del vigor. Los porcentajes (por ejemplo, 75 u 80 %) hacen que sea difícil determinar si las semillas de bajo vigor, capaces de producir plántulas normales, también tienen fugas altas de electrolitos (Steere *et al.*, 1981).

De acuerdo a Mavi *et al.* (2014), la CE (después de 17 y 24 horas) como el tiempo medio de germinación (TMG) fueron consistentes altamente correlacionados con la tasa y la emergencia final de las plántulas.

Cuadro 7. Comparación de medias de emergencia y variables de vigor de semillas de genotipos de jitomate obtenidas por tres formas de separación evaluadas en condiciones de invernadero.

Forma de separación	E (%)	PNI (%)	IVE	LRI (cm ⁻¹)	LPAI (cm ⁻¹)	PFRI (mg ⁻¹)	PSRI (mg ⁻¹)	PFAI (mg ⁻¹)	PSAI (mg ⁻¹)	CE (μS cm ⁻¹ g ⁻¹)
1	44.5 b ^t	45.7 b	8.49 a	4.4 b	3.8 b	208.2 a	83.12 a	614.7 b	59.6 a	23.2 b
2	52.7 a	52.7 a	8.41 a	5.6 a	4.3 a	138.9 b	18.3 b	682.9 a	58.9 a	19.7 c
3	39.9 c	39.9 c	4.2 b	2.5 c	2.2 c	41.6 c	8.8 c	245.5 c	37.7 b	28.9 a
DMSH	2.6	2.6	0.4	0.25	0.16	8.4	4.11	12.3	7.5	1.5

^tMedias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05); E: Porcentaje de emergencia; IVG: Índice de velocidad de germinación; PNI: Porcentaje de plántulas normales; LPAI: Longitud de parte aérea; PFRI: Peso fresco de raíz; PSRI: Peso seco de raíz; PFAI; Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSAI: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

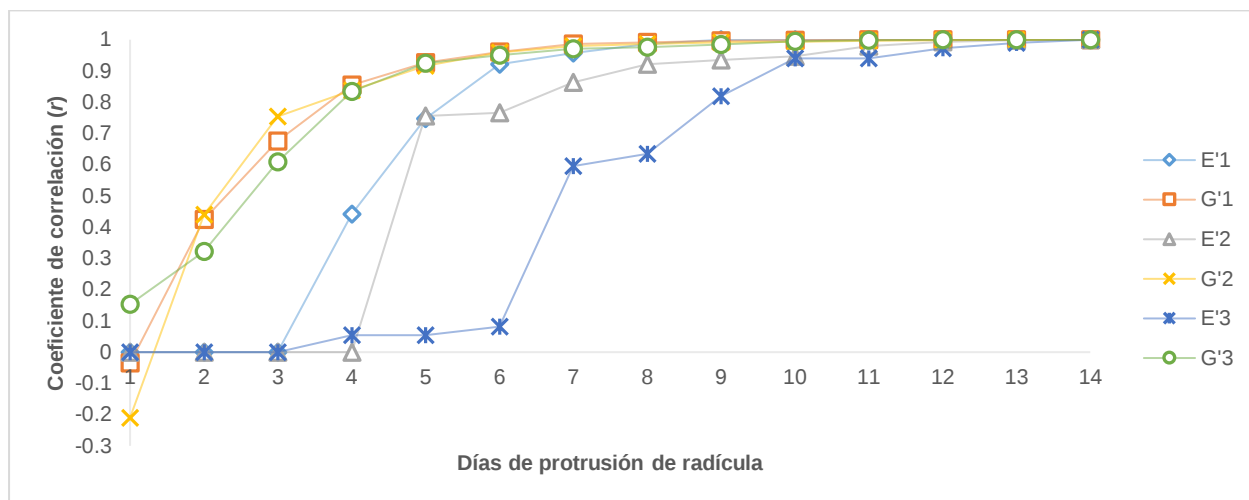
Correlación Pearson

Con la finalidad de definir el uso de la protrusión de radícula (ER) para predicción de porcentaje de germinación, emergencia de plántulas y parámetros de vigor, se llevaron a cabo pruebas de correlación Pearson entre las diferentes variables, cuantificadas a 14 días en laboratorio e invernadero de semillas provenientes de tres formas de separación, las cuales se expresan en las figuras siguientes.

Correlación de porcentaje de emergencia de radícula respecto a germinación y emergencia

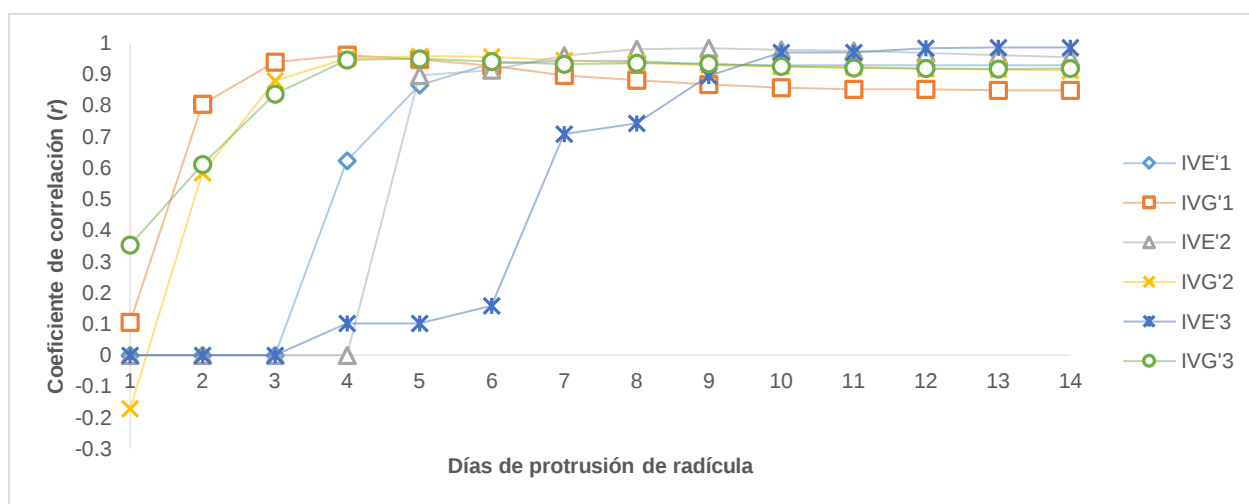
La protrusión de radícula (PER) muestra una correlación alta ($r > 0.80$) con porcentaje de germinación (G) en el día cuatro, mientras que con emergencia de plántulas en invernadero (E) hasta el día diez (Figura 1), lo anterior debido probablemente a que las condiciones en laboratorio favorecen la germinación de semilla en un período más corto, mientras que en invernadero, aun cuando se cuenta con condiciones favorables, las mismas son menos bondadosas que en el primer caso; la relación entre la prueba de germinación en laboratorio y las pruebas de emergencia de plántulas en campo depende directamente de las condiciones ambientales y los procedimientos adoptados para la siembra en campo (Vieira *et al*, 2004).

En la Figura 2, se muestran correlaciones altas de IVG ($r > 0.80$) con la protrusión de radícula (PER) en el día tres, este recuento de emergencia radicular ayuda a predecir el comportamiento en emergencia de varias especies como maíz, melón, sandía, algodón, calabaza (Matthews y Powell, 2011), sin embargo, con IVE se observa hasta el día nueve, esta demora ha sido observada en semillas envejecidas, situación que puede deberse al tiempo necesario para la reparación de membranas antes de lograr el alargamiento de la radícula y su protrusión (Mavi *et al.*, 2014).



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

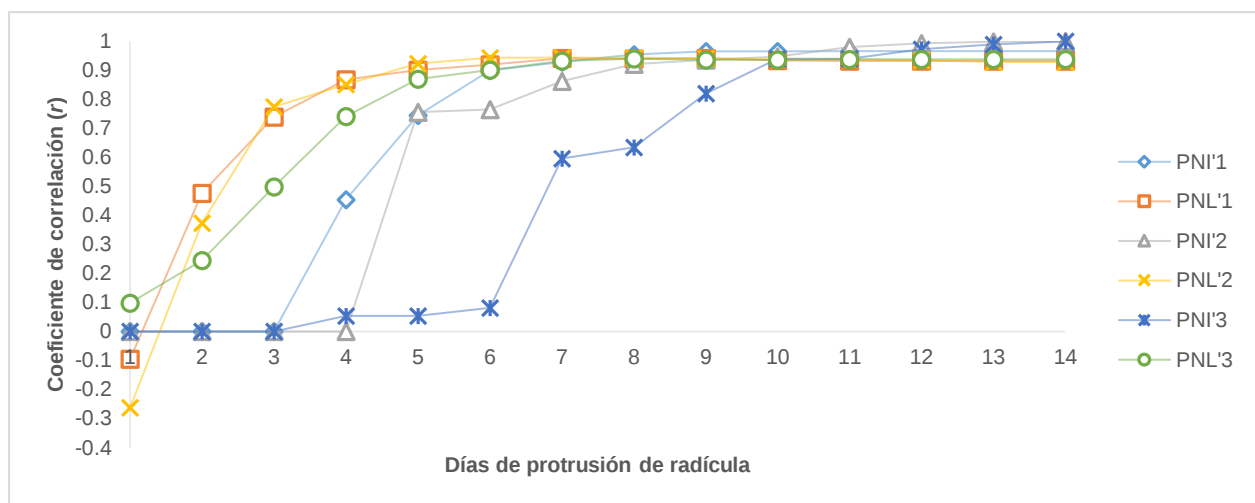
Figura 1. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de germinación (G) en laboratorio y emergencia (E) en invernadero en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

Figura 2. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el índice de velocidad de germinación (IVG) en laboratorio e índice de velocidad de emergencia (IVE) en invernadero en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.

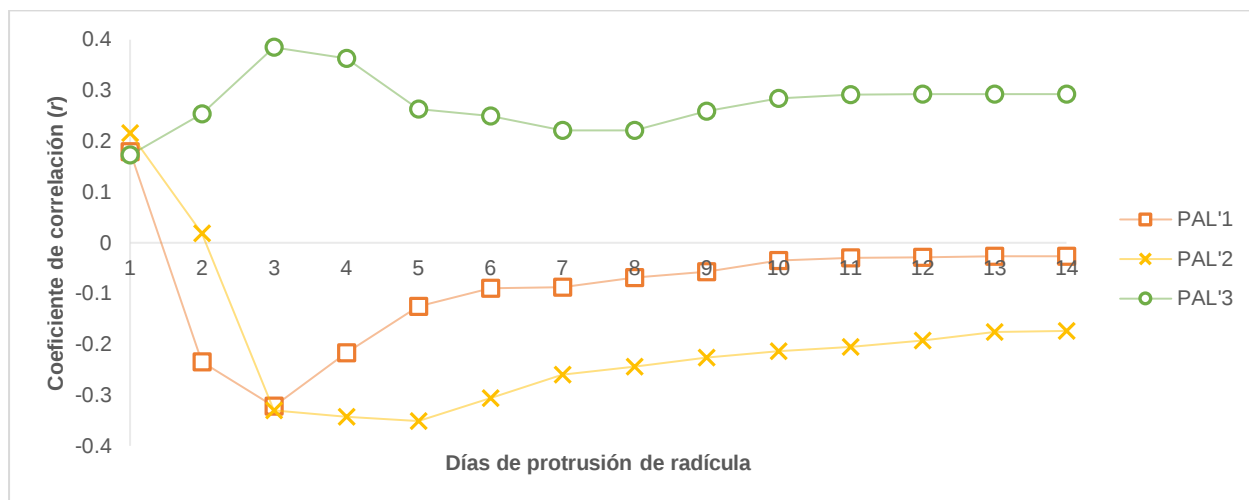
La protrusión de la radícula muestra correlaciones significativas con PNL ($r > 0.8$) a partir del día 5 y con PNI a partir del día diez (Figura 3), comportamiento que puede ser útil para las empresas semilleras, permitiéndoles usar la prueba de manera más eficiente en un mayor número de lotes (Matthews y Powell, 2011). En el caso de colza únicamente se requieren 30 horas de evaluación de emergencia de radícula y tres días para el caso de algodón (Matthews y Powell, 2011).



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

Figura 3. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de plántulas normales (PNL) en laboratorio e invernadero (PNI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.

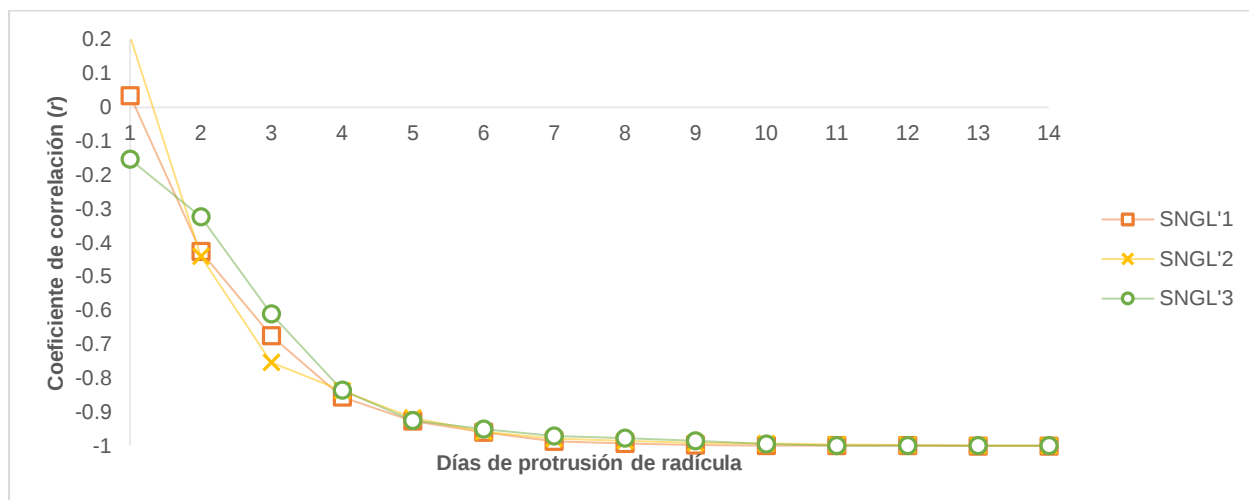
El porcentaje de plántulas anormales mostró correlaciones positivas con PER en las semillas evaluadas de las diferentes formas de separación ($r < 0.4$), sin embargo, únicamente la separación tres demostró que a medida que hay emergencia de radícula incrementa el PAL, caso contrario a los provenientes por separación uno y dos (Figura 4).



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

Figura 4. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de plántulas anormales (PAL) evaluadas en laboratorio en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.

La presencia de semilla no germinada (SNGL) en condiciones de laboratorio no mostró diferencias significativas entre las formas de separación de semilla (Figura 5), mientras tanto una alta correlación con los días de protrusión de radícula ($r = 0.8$) se observó a partir del día cuatro de establecida la siembra, comportamiento que puede atribuirse a la diferencia en calidad entre los genotipos influenciados por las condiciones de beneficio de cada uno. La baja o nula germinación de semillas puede ser resultado de diversos factores, como deterioro, que comienza después del alcance de maduración fisiológica de la semilla hasta perder la capacidad de germinar; su duración se determina principalmente por la interacción entre herencia genética, contenido de humedad y temperatura; la velocidad de deterioro varía entre lotes de semilla de la misma variedad y entre semillas individuales dentro de un lote (Delouche, 2002).



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

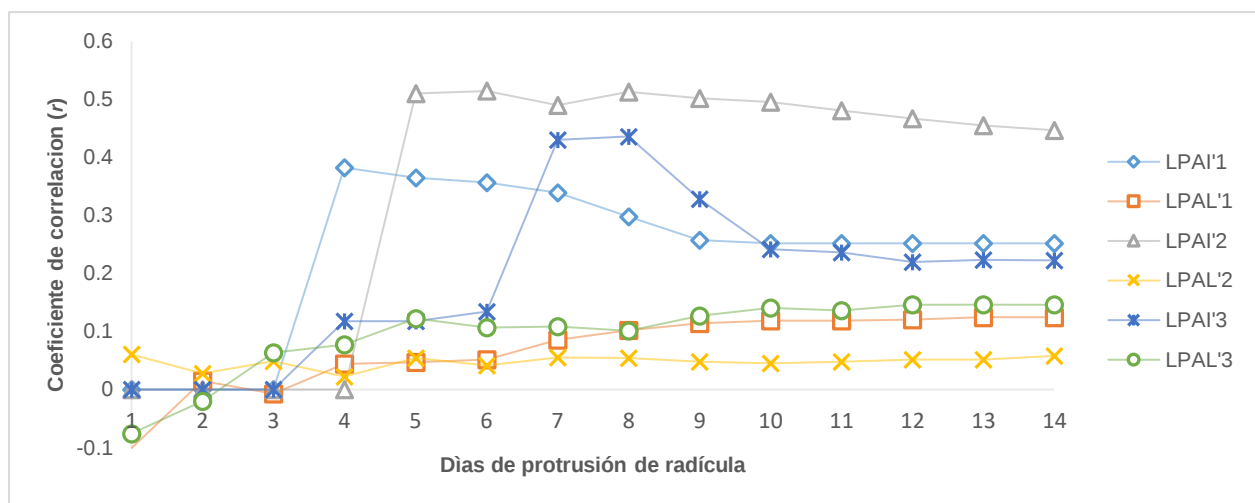
Figura 5. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y porcentaje de semilla no germinada en laboratorio (SNGL) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.

Para evaluar el vigor de las semillas se toman en cuenta las características de las plántulas obtenidas, como su apariencia, malformaciones y velocidad de crecimiento (Pérez y Pita, 2001).

Los parámetros referentes al vigor en una semilla se definen como el conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de las mismas durante la germinación y emergencia de plántulas, aquellas con buen comportamiento se consideran de alto vigor en el cual influye la constitución genética, condiciones ambientales y nutricionales, durante el periodo de formación, grado de madurez, tamaño, peso y densidad, integridad mecánica, grado de deterioro y envejecimiento, así como la contaminación por organismos patógenos (Pérez y Pita, 2001).

La longitud de la parte aérea de la plántula sirve para diferenciar el desarrollo y por lo tanto la calidad de cada genotipo; en condiciones de laboratorio, las semillas provenientes de la separación uno mostraron su mayor valor ($r > 0.1$) a partir del día cuatro, siendo que en invernadero se observó en las de la separación dos ($r > 0.4$) a partir del día cinco, comportamiento que puede adjudicarse principalmente al manejo durante

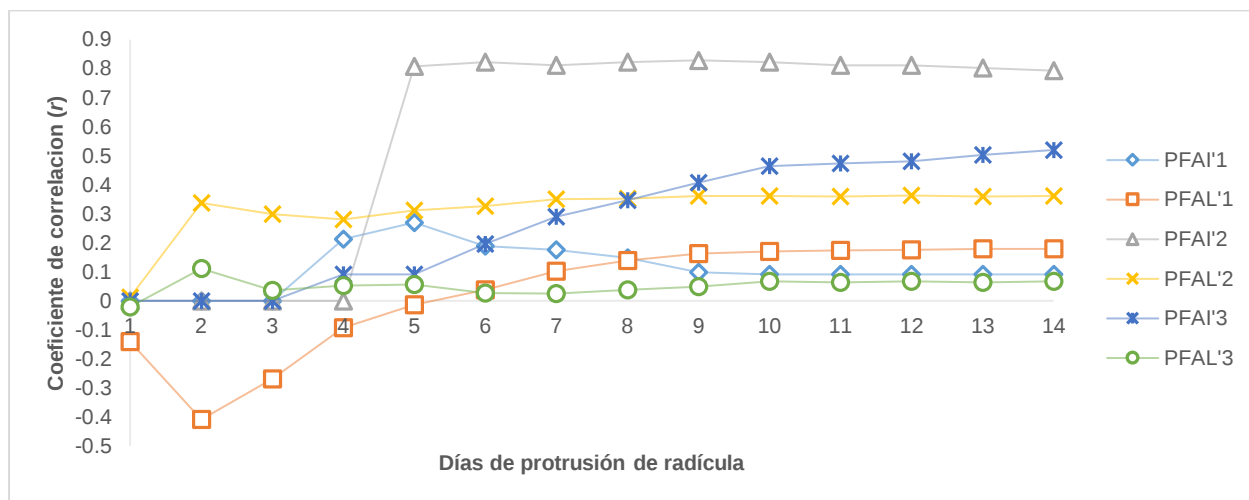
el beneficio de la semilla, lo cual coincide con aquellas que recibieron tratamiento con sales (separación tres), debido a que presentaron los valores más bajos en LPAL y LPAI (Figura 6). En puerro se realizó un conteo de aparición de radícula a las 72, 96, 120 y 144 horas después de la siembra como predictor de vigor y calidad de plántulas, peso fresco y seco de plántulas después de 16 días, encontrando correlación positiva (Ermis *et al.*, 2015b).



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

Figura 6. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y longitud de la parte aérea de plántula evaluada en laboratorio (LPAL) e invernadero (LPAI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.

El peso en biomasa fresca de la parte aérea es otro parámetro que sirve para evaluar el vigor de las semillas utilizadas; de este modo, las provenientes de la separación dos (Figura 7) manifestaron sus valores más altos tanto en invernadero ($r > 0.7$) y laboratorio ($r > 0.3$) a partir del día cinco y dos, respectivamente, lo cual se atribuye a que éstas son de mayor vigor, coincidiendo con los valores de germinación evaluados anteriormente.



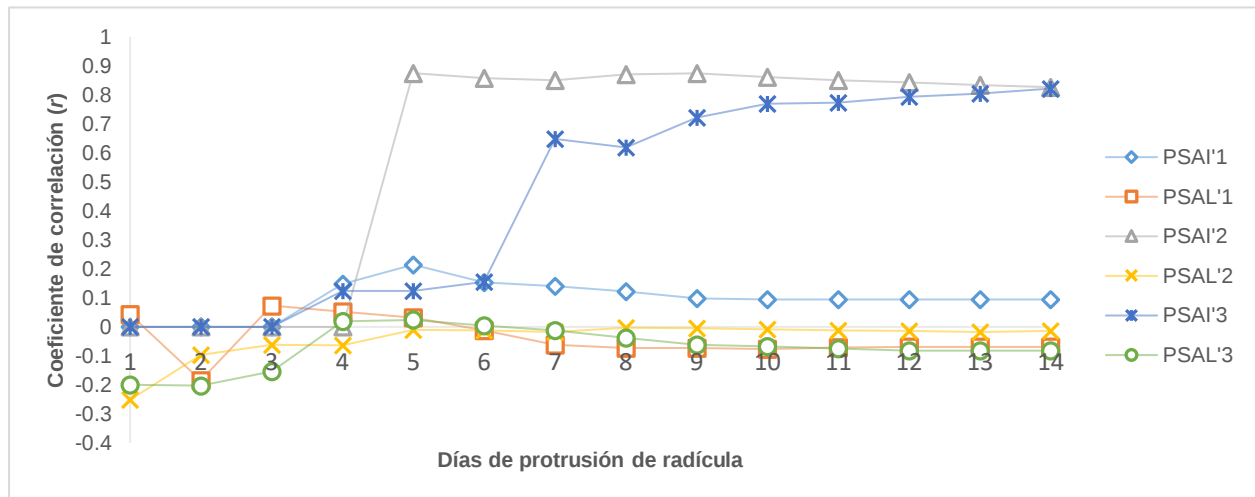
'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

Figura 7. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y peso fresco de la parte aérea de plántula evaluada en laboratorio (PFAL) e invernadero (PFAI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.

Respecto al peso seco de la parte aérea de la plántula, este comportamiento coincide con lo observado en el peso fresco del mismo (Figura 8), en donde las semillas vía separación dos destacan por presentar los valores más altos, en tanto que la separación tres mostró los valores más bajos en PSAL, no así para PSAI en donde ocupa el segundo lugar.

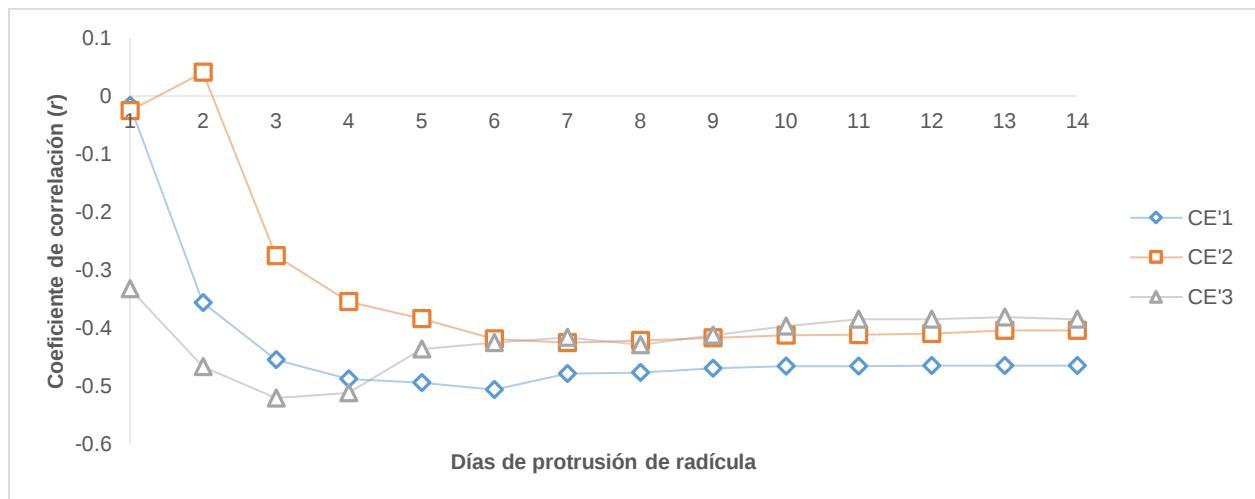
De manera general, las semillas provenientes de la separación uno (Figura 9) mostraron las correlaciones negativas más altas del porcentaje de protrusión de radícula (PER) respecto a la CE ($r > 0.3$) después del primer día, seguido de la separación dos y posteriormente separación uno; este comportamiento deriva principalmente de la estabilidad de las membranas al momento de realizar la prueba, las semillas con bajo vigor se caracterizan por presentar una menor velocidad de restauración de la integridad de las membranas celulares (Silva *et al.*, 2013). Esta prueba se realizó a 24 horas de sometidas las semillas a una solución de imbibición, sin embargo, ocho horas predicen la germinación normal en un lote de semillas comerciales al usar ecuaciones de regresión

desarrolladas a partir de experimentos con semillas envejecidas artificialmente (Demir *et al.*, 2012).



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

Figura 8. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y peso seco de la parte aérea de plántula evaluada en laboratorio (PSAL) e invernadero (PSAI) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.



'1: Separación 1; '2: Separación 2; '3: Separación 3.

Figura 9. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y medidas de conductividad eléctrica (CE) en semillas de jitomate obtenidas por tres formas de separación.

Las relaciones significativas entre la CE y la germinación se deben a una mayor pérdida de electrolitos de semillas no germinadas (muertas) y semillas que producen plántulas anormales, las cuales tienen mayores pérdidas que las semillas que producen plántulas normales (Matthews *et al.*, 2012b), la CE simula el comportamiento de los resultados que pueden afectar el vigor de las semillas en el establecimiento de plántulas en campo (Comiotto *et al.*, 2011).

La asociación negativa entre la CE y la germinación normal se debe a los altos niveles de filtración de electrolitos de las semillas no germinadas (muertas) y las que producen plántulas anormales (Mirdad *et al.*, 2006), o bien que algunas semillas que eran capaces de producir plántulas normales se hayan deteriorado a través del envejecimiento durante la producción y el almacenamiento, reflejado en una mayor pérdida de electrolitos y un retraso mayor en la emergencia de la radícula (Mavi *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

Los valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula y porcentaje de plántulas normales en semillas de jitomate, presentan resultados significativos a partir del quinto día en una prueba de germinación estándar, comportamiento que puede ser utilizado como indicador para dictaminar el porcentaje de germinación en un proceso de certificación en menor tiempo.

El porcentaje de protrusión de radícula en la germinación estándar, mostró correlaciones significativas con algunas variables de vigor evaluados en plántulas de jitomate.

Los porcentajes de emergencia y plántulas normales obtenidas en charolas bajo condiciones de invernadero, muestran correlaciones bajas durante los primeros días con el porcentaje de protrusión de radículas obtenidas en una prueba de germinación estándar.

La prueba de conductividad eléctrica es una prueba de vigor que puede ser utilizada para predecir el comportamiento de las semillas durante su germinación y emergencia.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, P. V.; Ferreira, A. y Nunes, V. (2006). Seed desinfestations methods *in vitro* cultivation of epiphyte orchids from Southern Brazil. *Horticultura brasileira*, 24: 217-220.
- Bodwen, L. y Landais, L. (2018). The impact of light and high light on seed germination and the radicle emergence test. *Seed Science and Technology*, 46 (3): 465-471.
- Bogdanović, S.; Mladenov, B. y Balešević T. S. (2015). Importance of using certified seed grown plants. *Selekcija i semenarstvo*, 43 (3): 313-316.
- Comiotto, A.; Moraes, D. M.; Lopes, N. F. (2011). Potencial alelopático de extratos aquosos de aroeira sobre germinação e crescimento de plântulas de alface. *Scientia Agraria Paranaensis*. 10 (3): 23-31.
- Cruz, P. A. B.; González, H. V. A.; Mendoza, C. M. C. y Ortega, D. M. L. (2003). Marcadores fisiológicos de la tolerancia al envejecimiento de semilla en maíz. *Agrociencia*, 37: 371-381.
- Delouche, J. C. (2002). Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seed News* 6 (6).
Página web: <https://seednews.com.br/edicoes/artigo/2004-germinacion-deterioro-y-vigor-de-semillas-edicao-novembro-2002>. (Fecha de consulta: Noviembre, 2018).
- Demir, I.; Cebeci, C. y Guloksuz, T. (2012). Electrical conductivity measurement to predict germination of commercially available radish seed lots. *Seed Science and Technology*, 40: 229-237.
- Demir, I.; Mavi, K.; Kenanoglu, B. B. y Matthews, S. (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.
- Dutra, A. y Vieira, R. D. (2006). Teste de condutividade elétrica para a avaliação do vigor de sementes de abobrinha. *Revista Brasileira de Sementes*, 28 (2):117-122

- Ermis, S.; Karslioglu, M.; Ozden, E. y Demir, I. (2015). Use of a single radicle emergence count as a vigour test in prediction of seedling emergence potential of leek seed lots. *Seed Science and Technology*, 43: 308-312.
- George, T. R. (2010). *Vegetable seed production*. CABI, 3rd. Edition. 320 p.
- Hyatt, J. E. y TeKrony, D. M. (2008). Factors influencing the saturated salt accelerated aging test in tomato and onion. *Seed science and Technology*, 36: 534-545.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2016). Anexo estadístico: Coeficientes de variación y error asociado al estimador. 5 p.
- INTA. (2013). Evaluación de calidad de semillas. Prueba de germinación para semillas de granos básicos. 19 p.
- ISTA. (2013). *International Rules for Seed Testing*, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- ISTA. (2018). *International Rules for Seed Testing Association*. (1). Bassersdorf, Switzerland.
- Lamour, A. y Lotz, P. L. A. (2007). The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seed beds. *Ecological Modelling*, 201: 536-546.
- Lopes, M. M.; Barbosa, R. M. y Vieira, R. D. (2012). Methods for evaluating the physiological potential of Scarlet eggplant (*Solanum aethiopicum*) seeds. *Seed Science and Technology*, 40(1): 86-94.
- Maguire, J. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2:176.
- Matthews, S. and Powell, A.A. (2011). Towards automated single counts of radicle emergence to predict seed and seedling vigour. *Seed Testing International*, 142: 44-48.
- Matthews, S.; Demir, I.; Celikkol, T.; Kenanoglu, B. B. y Mavi, K. (2009). Vigour tests for cabbage seeds using electrical conductivity and controlled deterioration to estimate relative emergence in transplant modules. *Seed Science and Technology*, 37: 736-746.

- Matthews, S.; Wagner, M. H.; Kerr, L.; McLaren, G. and Powell, A.A. (2012b). Automated determination of germination time courses by image capture and early counts of radicle emergence (RE) lead to a new vigour test for winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Seed Science and Technology*, 40: 413-424.
- Matthews, S.; Wagner, M. H.; Kerr, L.; McLaren, G. y Powell, A. A. (2012a). Automated determination of germination time courses by image capture and early counts of radicle emergence (RE) lead to a new vigour test for winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Seed Science and Technology*, 40: 413-424.
- Mavi, K.; Mavi, F.; Demir, I. y Matthews, S. (2014). Electrical conductivity of seed soak water predicts seedling emergence and seed storage potential in commercial seed lots of radish. *Seed Science and Technology*, 42: 76-86.
- McDonald, M. B. (1999). Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27:177-237.
- Mirdad, Z.; Powell, A. A. y Matthews, S. (2006). Prediction of germination in artificial y aged seeds of *Brassica* spp. using the bulk conductivity test. *Seed Science and Technology*, 34 (2): 273-286.
- Pérez, G. F. y Pita, V. J. M. (2001). Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Hojas divulgadoras. 16 p.
- Powell A. A. (1986). Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. *Journal of Seed Technology*, 10: 81-100.
- Powell, A. A. y Matthews, S. (2012). Seed ageing /repair hypothesis leads to new testing methods. *Seed and Technology*, 34: 15-25.
- Reyes C., P. (1990). Bioestadística aplicada: agronomía, biología, química. Trillas. 2da. Edición. 216 p.
- Rosabal, A. L.; Martínez, G. L.; Reyes, G. Y.; Amico, R. J. D. y Núñez, V. M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. Revisión bibliográfica. *Cultivos tropicales*, 35 (3): 24-35.

- Vieira, R. D.; Neto, A. S.; de Bittencourt S. R. M. y Panobianco, M. (2004). Electrical conductivity of the seed soaking solution and soybean seedling emergence. *Scientia Agrícola*, 61 (2): 164-168.
- Steere, W. C., Levengood, W.C. y Bondie, J. M. (1981). An electrical analyzer for evaluating seed germination and vigour. *Seed Science and Technology*, 9: 567-576.
- Vieira, R. D.; Penariol, A. L.; Perecin, D.; Panobianco, M. (2002). Condutividade elétrica e o teor de água inicial das sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37 (19): 1333-1338.
- Vidigal D. S., D. C. F. S. Dias, D. S. P. C. Naveira, F. B. Rocha and M. C. Bhering (2006). Qualidade fisiológica de sementes de tomate em função da idade e do armazenamento pós-colheita dos frutos. *Revista Brasileira de Sementes*, 28: 87-93.

CAPITULO IV. EMERGENCIA DE RADÍCULA PARA CERTIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

RESUMEN

La certificación de semillas juega un papel de suma importancia dentro de la industria semillera, al ser un proceso en el cual se verifica e inspecciona la semilla desde su origen, proceso de producción en campo, beneficio, almacenamiento y comercialización, de acuerdo a estrictas normas de calidad que implica la realización de pruebas de calidad, sin embargo, el proceso de certificación requiere de periodos prolongados. Con el propósito de acortar el período de ejecución de estas pruebas, se ha planteado el uso del porcentaje de protrusión de la radícula de la semilla como un indicador del porcentaje de germinación al presentar altas correlaciones con el porcentaje de plántulas normales. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue reducir el tiempo para dictaminar la certificación de la calidad fisiológica de lotes de semillas en función del porcentaje de protrusión de radícula en semilla de cuatro variedades de *Physalis ixocarpa* Brot ex Horm., evaluadas en el Laboratorio de Semillas e invernadero del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo en verano y otoño de 2018. Se establecieron pruebas de germinación estándar y emergencia en charolas de poliestireno bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones de cien semillas. Se encontró alta correlación ($r > 0.8$; $p < 0.001$) entre la emergencia de radícula y plántulas normales al cuarto día, momento que puede ser considerado para dictaminar la certificación. La prueba de conductividad eléctrica identificó a las variedades Diamante y Tecozautla con el mayor desempeño en vigor.

Palabras clave: calidad fisiológica de semillas, conductividad eléctrica, correlación, plántulas normales, vigor.

RADICLE EMERGENCE FOR CERTIFICATION PERCENTAGE GERMINATION IN HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

ABSTRACT

Seed certification plays an important role within the seed industry, to be a process where seed is checked and inspected from its origin, production process in field, processing, storage and marketing, according to strict quality standards, that implies quality testing; however, usually the certification process requires long periods. In order to reduce the implementation period of these tests, the use of the radicle emergence percentage as an indicator to certify germination percentage has been introducing since showed high correlation with the percentage of normal seedlings. Therefore, the objective of the present research was reducing the time to issue the certification of the physiological seed quality of lots, according to the percentage of radicle emergence in seed of four varieties of *Physalis ixocarpa* Brot ex Horm., evaluated in the seed laboratory and greenhouse of the Horticulture Institute at the Autonomous University of Chapingo in summer and fall of 2018. A standard germination and emergence test in polystyrene trays were established under a completely randomized experimental design with four replicates of 100 seeds. High correlation ($r > 0.8$; $p < 0.001$) between radicle emergence and normal seedlings on the fourth day was recorded, time that can be considered for determining certification of seed germination. Electrical conductivity test identified the Diamante and Tecozautla varieties with greater vigor performance.

Key words: physiological seed quality, electrical conductivity, correlation, normal seedlings, vigor.

INTRODUCCION

La calidad de semillas es uno de los factores principales para el éxito en la producción agrícola, de modo que es indispensable entregar a los productores semilla con las características genéticas, físicas, fitosanitarias y fisiológicas que espera observar en su proceso de producción (INTA, 2013).

Producir semilla con la identidad genética requerida, capacidad de germinación y vigor, es necesaria para obtener una buena expresión del potencial de rendimiento del lote en una amplia gama de condiciones de campo (Vieira *et al.*, 2004), debido a que el comportamiento de un cultivo depende en gran parte de las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla, su reacción al ambiente y la rapidez con que se utilicen sus reservas para el crecimiento de la plántula (Lamour y Lotz, 2007).

Para asegurar semillas de calidad, es necesario realizar un proceso de certificación que implica verificación e inspección de semillas desde su origen, proceso de producción en campo, acondicionamiento, almacenamiento y comercialización, ajustándose a estrictas normas de calidad establecidas (SNICS, 2018).

La capacidad de germinación y vigor son los atributos principales involucrados en la calidad fisiológica de la semilla, de los que dependen la emergencia y desarrollo de estructuras esenciales para la formación de una planta normal a partir del embrión (Delouche, 2002). En la germinación y desarrollo de las plántulas están involucradas una serie de actividades anabólicas y catabólicas como la respiración, síntesis de proteínas y movilización de reservas (Desai, 2004).

Salvo algunos casos, el vigor comúnmente no es objeto de certificación y solo es utilizado como un parámetro complementario en el proceso de control de calidad, siendo de mucha utilidad para diferenciar entre lotes con un potencial de germinación similar (Vieira *et al.*, 2004).

Debido a que muchas pruebas de vigor utilizan bastante tiempo, la ISTA ha introducido recientemente la emergencia de radícula (ER) como una prueba de vigor en algunas

especies como colza, rábano y maíz, bajo el principio de que a medida que envejecen las semillas acumulan daños y consecuentemente mayor es el tiempo requerido para su reparación y el periodo de demora entre la imbibición y emergencia de radícula (Powell y Matthews, 2012).

En este contexto, el porcentaje de germinación es el evento principal considerado por los organismos certificadores para otorgar el documento que así lo acredite bajo estándares establecidos, y aunque el tiempo entre la imbibición de la semilla y emergencia de la radícula es considerado el periodo de germinación en el estricto sentido (Bray, 1995), para los certificadores y la industria, una semilla germinada solo será considerada como tal cuando sea capaz de generar una plántula normal durante la prueba de germinación estándar, que se lleva a cabo en laboratorio bajo condiciones favorables de temperatura, humedad y sanidad (Hyatt y Tekrony, 2008).

El proceso de certificación de semillas requiere periodos definidos por especie para su evaluación y dictamen, los cuales han sido establecidos por la Asociación Internacional para el Análisis de Semillas, desafortunadamente pueden ser muy prolongados para la conveniencia de la industria ya que implica inversión de tiempo y recursos. Debido a esto, acortar el tiempo para el dictamen de certificación de semillas es para la industria de las semillas una alternativa que le permitiría ahorro de tiempo y dinero, así como la posibilidad de llevar su producto con mayor rapidez a los distribuidores. Con base en lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo evaluar en una prueba de germinación estándar, la correlación entre la protrusión de radículas y el porcentaje de plántulas normales con la finalidad de determinar si los valores de radículas emergidas pueden ser utilizados como punto de referencia para certificación de lotes de semillas y reducir el periodo para la emisión de resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Laboratorio de Semillas e invernaderos del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, situada a 19°29' de latitud Norte y 98°51' de longitud Oeste, con una altitud de 2,250 msnm.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de 4 variedades de tomate (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm), Manzano, Tecozautla, Diamante y Gema producidas por el Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo en el año 2013.

Pruebas de calidad fisiológica de semillas

Prueba de germinación estándar

Se realizó una prueba de germinación estándar en donde la unidad experimental fue una caja Petri con papel filtro de porosidad media humedecida con agua destilada, en la cual se colocaron 100 semillas; las cajas se introdujeron en una cámara de germinación Seedburo® 1022 W JACKSON a 25 °C, humedad relativa al 90 % y luz fluorescente, por un periodo de 28 días. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro repeticiones, en donde se evaluó lo siguiente:

Porcentaje de protrusión de radícula (PER): se realizó el conteo diario de semillas germinadas (aquellas con protrusión de radícula), en una prueba de germinación estándar con base en el protocolo propuesto por la ISTA (2018).

Porcentaje de germinación (G): se contabilizó el número de semillas germinadas desde la siembra hasta los 14 días, tomando como dato la sumatoria del número de plántulas normales y anormales al final de la prueba.

Porcentaje de plántulas normales (PNL): se contabilizó el porcentaje de plántulas que presentaron todas las estructuras esenciales bien desarrolladas (raíz, tallo, hojas sin malformaciones).

Porcentaje de plántulas anormales (PAL): se contabilizó el porcentaje de plántulas que no presentaron todas las estructuras esenciales bien desarrolladas o con alguna malformación de raíz, tallo u hoja.

Porcentaje de semillas no germinadas (SNGL): se contabilizó el porcentaje de semillas que no emitieron alguna de las estructuras esenciales del embrión.

Variables evaluadas de vigor en laboratorio

Índice de velocidad de germinación: se contabilizó el número de semillas emergidas a lo largo de la prueba, calculado mediante la expresión siguiente propuesta por Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^n (x_i / d_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde n= número de conteos realizados durante la prueba; x_i =número de semillas germinadas entre el conteo $i-1$ y el conteo i ; d_i =número de días después de la siembra en el conteo i .

A los catorce días de establecida la prueba, se tomó una muestra aleatoria de diez plántulas en cada unidad experimental a las cuales se les cuantificó la Longitud de la parte aérea de la plántula (LPAL en cm) y la Longitud de raíz de la plántula (LRL en cm), así como Peso fresco de la parte aérea de la plántula (PFAL en g) y Peso fresco de la raíz de la plántula (PFRL en g), estos últimos con el auxilio de una balanza digital OHAUS® modelo H2716. Finalmente, se cuantificaron en Peso seco de la parte aérea de la plántula (PSAL en mg) y Peso seco de la raíz de la plántula (PSRL en mg) con una balanza analítica, para lo cual previamente las muestras fueron colocadas en una estufa a 110 ° C THRMSTT modelo LW201C/A durante 48 horas hasta obtener peso constante.

Prueba de emergencia en invernadero

Se estableció una prueba de emergencia en charolas de poliestireno de 200 cavidades en condiciones de invernadero con turba Sunshine® Mix 3 como sustrato, una vez realizada la siembra, las charolas se taparon con plástico negro para incrementar la temperatura y acelerar el proceso de germinación, el cual se mantuvo hasta la emergencia de las plántulas con monitoreos constantes hasta los 14 días, cada unidad experimental contenía 100 semillas distribuidas en una por cavidad y se colocaron bajo un diseño completamente al azar en donde se evaluaron las siguientes variables:

Porcentaje de emergencia (E): Se contabilizó el número de plántulas emergidas desde la siembra de semillas hasta el día 14, tomando como dato la sumatoria al final de la prueba.

Porcentaje de plántulas normales (PNI): Se calculó el porcentaje de plántulas emergidas en las charolas que presentaron todas las estructuras esenciales.

Variables evaluadas de vigor en invernadero

Índice de velocidad de emergencia (IVE): se calculó mediante la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum_{i=1}^n (x_i / d_i) \quad i = 1, 2, 3, n$$

Donde n= número de conteos realizados durante la prueba; x_i =número de semillas germinadas entre el conteo $i-1$ y el conteo i ; d_i =número de días después de la siembra en el conteo i .

Con base en la metodología utilizada para la valoración de vigor en laboratorio, se evaluaron las siguientes variables: Longitud de la parte aérea de la plántula (LPAI en cm), Longitud de raíz de la plántula (LRI en cm), Peso fresco de la parte aérea de la plántula (PFAI en g), Peso fresco de la raíz de la plántula (PFRI en g), Peso seco de la parte aérea de la plántula (PSAI en mg) y Peso seco de la raíz de la plántula (PSRI en mg).

Prueba de conductividad eléctrica (CE)

La medición de la conductividad eléctrica (CE) se realizó en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas de cada raza. Se tomó previamente el peso de cada muestra y posteriormente se sometieron a imbibición con 16 mL de agua desionizada en viales de 20 mL de capacidad durante 24 horas a temperatura ambiente. La conductividad eléctrica se midió en $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ con un conductímetro Hanna HI 255, para lo cual se introdujeron los electrodos dentro de los viales que contenían el soluto de las semillas embebidas.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en laboratorio e invernadero se realizaron de manera independiente, análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.5$), donde el factor de variación fue variedades. Finalmente, se realizaron correlaciones de Pearson entre los días de protrusión de radícula y las variables de germinación y vigor evaluadas en laboratorio e invernadero. Todos los análisis se llevaron a cabo con la asistencia del paquete estadístico SAS (Statistic Analysis System, 2002), versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de germinación estándar

Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencias significativas en las variables de germinación y vigor entre razas de tomate, excepto en la longitud de raíz (LR), peso fresco y seco de la parte aérea de la plántula (PFAL, PSAL) y peso seco de la raíz (PSRL) (Cuadro 8), lo que supone que existe un efecto genético de cada raza sobre el comportamiento de las variables, de ahí que las pruebas de germinación y vigor en los procesos de control de calidad sean necesarias para determinar la capacidad de cada genotipo para producir una plántula normal (Powell y Mathews, 2012).

En este contexto, la conductividad eléctrica utilizada como un punto de referencia para valorar el vigor, corrobora lo previamente argumentado, en el sentido de que hubo diferencias entre las razas lo que hace suponer que la integridad de las membranas celulares de las muestras fue variable (Silva *et al.*, 2013), donde el genotipo y edad de semillas seguramente afectaron el vigor y la germinación.

Los coeficientes de variación demuestran que existe una alta distribución de datos en las variables referentes a PAL, SNGL, PFAL, PSRL y PSAL al presentar un valor mayor al 20 %, lo que indica una baja confiabilidad, siendo aceptable para las restantes, esto con base a que un coeficiente de variación menor al 5 % que indica una confiabilidad muy buena, de 5 a 15 % buena, de 15 a 20 % aceptable y mayor a 20 % no recomendable (Reyes, 1990; INE, 2016); por otra parte, la baja o nula germinación de semillas puede deberse a diversos factores, particularmente al deterioro, el cual inicia después del alcance de maduración fisiológica de la semilla hasta perder la capacidad de germinar; su duración se determina principalmente por la interacción entre herencia genética, contenido de humedad y temperatura; la velocidad de deterioro varía entre lotes de semilla de la misma variedad y entre semillas individuales dentro de un lote (Delouche, 2002).

Cuadro 8. Cuadrados medios de germinación y variables de vigor de semillas en variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de laboratorio.

YFV	GL	G	PNL	PAL	SNGL	IVG	LRL	LPAL	PFRL	PFAL	PSRL	PSAL	CE
V	3	35.0*	76.5**	9.7*	37.7*	40.1**	0.10	0.3*	294.0**	1821.7	1.0	3.6	36.7**
Error	12	9.7	12.45	2.2	9.6	2.9	0.03	0.1	10.5	63.7	0.0	0.0	6.1
Total	15	44.7	88.95	11.9	47.4	43.1	0.13	0.4	304.5	1885.4	1.1	3.6	42.9
CV		3.3	3.88	40.9	54.7	4.4	35.56	6.9	11.57	5.4	21.2	20.2	22.4
Media		94.3	90.75	3.6	5.6	38.4	0.74	4.6	28.0	147.4	1.1	5.9	11.0

Significancia; * ($p \leq 0.05$) ; ** ($p \leq 0.01$) con $\alpha = 0.05$; YFV: Factor de variación; V:Variedades de tomate de cáscara; CV: Coeficiente de variación; GL: Grados de libertad; G: Porcentaje de germinación; PNL: Porcentaje de Plántulas normales; PAL: Porcentaje de Plántulas anormales; SNGL: Porcentaje de Semilla no Germinada; IVG: Índice de velocidad de Germinación; LRL; Longitud de raíz ; LPAL: Longitud de la parte aérea de la plántula ; PFRL: Peso fresco de raíz ; PFAL: Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSRL: Peso seco de raíz ; PSAL: Peso seco de la parte aérea de la plántula ; CE: Conductividad eléctrica.

Comparación de medias

En la prueba de germinación estándar (Cuadro 9), las variedades Tecozautla, Diamante y Gema alcanzaron los mayores ($p \leq 00.5$) valores en porcentaje de germinación (G) y porcentaje de plántulas normales (PLN), y consecuentemente tienden a presentar los valores más bajos para porcentaje de plántulas anormales (PAL) y semillas no germinadas (SNGL); no obstante, cabe mencionar que en estos dos últimos parámetros, la variedad Manzano, muestra el mismo comportamiento ($p \leq 00.5$) que Diamante y Gema. En relación al vigor, la mayor velocidad de emergencia se observó en la raza Diamante, probablemente por tener semillas pequeñas que embeben más rápido y por lo tanto emiten la radícula en menor tiempo (Baloch *et al.*, 2001; Méndez *et al.*, 2008), hipótesis que se respalda con los parámetros de vigor peso seco (PFRL) y fresco de raíz y parte aérea, donde presentó menores valores ($p \leq 00.5$) al de las variedades restantes ya que dichos parámetros dependen en gran medida del peso y tamaño de la semilla; al ser semillas grandes se tiene una mayor reserva metabólica que incrementa la probabilidad de establecimiento de las plántulas (Leishman y Westoby, 1994).

En el mismo contexto, estas últimas presentan la mayor longitud de parte aérea de plántula (LPAL), lo cual no es reflejado en las variables restantes, debido a que Gema es la única que presenta la mayor expresión de vigor, particularmente en el peso fresco de parte aérea (PFRL) y peso seco de raíz (PSRL) y parte aérea de plántula (PSAL), lo que podría deberse a que es la variedad con semilla de mayor peso. Los resultados de la prueba de conductividad eléctrica no respaldan positivamente lo previamente referido, debido a que los mayores ($p \leq 00.5$) valores de CE se presentan en las variedades Manzano y Gema, es decir las describe como las de mayor deterioro, lo que contradice particularmente a lo reportado en Gema; no obstante, cabe mencionar que las condiciones ideales de temperatura y humedad relativa durante la prueba de germinación, probablemente no fueron lo suficientemente estresantes para haber afectado negativamente el comportamiento de las semillas deterioradas (Delouche, 2003;

Pérez *et al.*, 2016); adicionalmente, dos de los genotipos con menor deterioro en función de los resultados de la prueba de CE (Diamante y Tecozautla) presentaron porcentaje de germinación mayor al 50 %, por lo que en este sentido hay una relación directa entre los resultados.

Cuadro 9. Comparación de medias de emergencia y variables de vigor en semillas de variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de laboratorio.

VARIEDAD	G (%)	PNL (%)	PAL (%)	SNGL (%)	IVG	LRL (cm ⁻¹)	LPAL (cm ⁻¹)	PFRL (mg ⁻¹)	PFAL (mg ⁻¹)	PSRL (mg ⁻¹)	PSAL (g ⁻¹)	CE (μ S cm ⁻¹ g ⁻¹)
Diamante	96.0 ab ^t	92.0 ab	4.0 ab	4.0 ab	42.9 a	0.6 a	4.2 b	24.5 a	146.5 b	1.0 b	6.3 a	9.5 b
Tecozautla	97.0 a	95.7 a	1.5 b	2.7 b	37.0 b	0.7 a	5.0 a	40.0 a	148.0 b a	1.0 b	6.3 a	7.8 b
Manzano	90.5 b	85.0 b	5.2 a	9.7 a	35.6 b	0.6 a	4.5 ab	20.0 a	121.5 c	0.7 a	4.4 b	14.7 a
Gema	93.7 ab	90.0 ab	3.7 ab	6.2 ab	37.9 b	0.9 a	4.7 ab	27.5 a	173.7 a	1.9 a	6.5 a	12.0 ab
DMSH	6.5	7.4	3.1	6.5	3.5	0.3	0.6	6.8	16.75	0.5	0.3	5.20

^tMedias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05); G: Porcentaje de germinación; PNL: Porcentaje de plántulas normales; PAL: Porcentaje de plántulas anormales; SNGL: Porcentaje de semilla no germinada; IVG: Índice de velocidad de germinación; LRL: Longitud de raíz; LPAL: Longitud de parte aérea de la plántula; PFRL: Peso fresco de raíz; PFAL: Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSRL: Peso seco de raíz; PSAL: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Prueba de emergencia en invernadero

Análisis de varianza

Respecto a las variables evaluadas en la prueba de emergencia, se observaron diferencias significativas entre las variedades en E, PNI, IVE, PFRI, PFAI y CE, comportamiento que puede atribuirse a que las semillas de las cuatro variedades evaluadas no son similares (Cuadro 10). Por otra parte, no se observaron diferencias significativas en las variables LRI LPAI PSRI y PSAI, probablemente porque al muestrear se consideraron plántulas con características similares.

Cuadro 10. Cuadrados medios de emergencia y variables de vigor de semillas en variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de invernadero.

YFV	GL	E	PNI	IVE	LRI	LPAI	PFRI	PFAI	PSRI	PSAI	CE
V	3	139.0**	141.7*	24.0**	0.30	0.26	34972.9**	89816.6**	2202.5	152.0	36.78 *
Error	12	23.0	23.8	1.0	0.72	0.18	3085.0	4745.8	2645.0	62.8	6.16
Total	15	162.0	165.5	25.0	1.02	0.44	38057.9	94561.0	2847.5	214.8	42.94
CV		5.6	5.7	6.3	15.70	8.4	22.4	10.8	33.4	9.9	22.40
Media		84.6	84.5	15.9	5.40	5.08	246.8	635.0	153.8	79.9	11.00

Significancia; * ($p \leq 0.05$) ; ** ($p \leq 0.01$) con $\alpha=0.05$; YFV: Factor de variación; V: Variedades de tomate de cáscara; CV: Coeficiente de variación; GL: Grados de libertad; E: Porcentaje de emergencia; PNI: Porcentaje de Plántulas normales; IVE: Índice de velocidad de Emergencia; LRI: Longitud de raíz ; LPAI: Longitud de la parte aérea de la plántula ; PFRI: Peso fresco de raíz ; PFAI: Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSRI: Peso seco de raíz ; PSAI: Peso seco de la parte aérea de la plántula ; CE: Conductividad eléctrica.

Comparación de medias

En relación a la prueba en invernadero (Cuadro 11), Diamante y Tecozautla presentan los mayores ($p \leq 0.05$) porcentajes de emergencia (E) y de plántulas emergidas (PNI), mientras que la mayor velocidad de emergencia la registraron las variedades Diamante y Manzano, siendo ésta última la que mantiene los mayores valores en las demás variables de vigor, en tanto que los genotipos restantes presentan un comportamiento similar entre ellos. Cabe mencionar que los menores valores de CE, que suponen semillas menos deterioradas, coinciden con los mayores porcentajes E y PNI, no obstante, contraponen los resultados de Manzano, ya que su valor de CE indica la semilla más deteriorada, lo cual debía haber afectado negativamente la expresión del vigor, debido a que este último es un aspecto fisiológico de la calidad de la semilla y está significativamente influenciado por el envejecimiento de la semilla (Hampton y TeKrony, 1995).

Cuadro 11. Comparación de medias de emergencia y variables de vigor en semillas de variedades de tomate de cáscara evaluadas en condiciones de invernadero.

VARIEDAD	E (%)	PNI (%)	IVE	LRI (cm ⁻¹)	LPAI (cm ⁻¹)	PFRI (mg ⁻¹)	PFAI (mg ⁻¹)	PSRI (mg ⁻¹)	PSAI (mg ⁻¹)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)
Diamante	93.0 a ^t	93.0 a	18.7 a	5.6 a	5.2 a	227.5 b	607.5 b	152.9 a	79.9 a	9.5 b
Tecozautla	84.5 ab	84.5 ab	14.2 b	5.0 a	5.1 a	207.5 b	515.0 b	148.2 a	71.5 a	7.8 b
Manzano	80.7 b	80.5 b	17.0 a	5.5 a	5.2 a	382.5 a	852.5 a	185.4 a	82.0 a	14.7 a
Gema	80.2 b	80.2 b	13.5 b	5.5 a	4.7 a	170.0 b	565.0 b	128.8 a	86.2 a	12.0 ab
DMSH	10.1	10.2	2.1	1.7	0.8	116.6	144.6	107.9	16.6	5.2

^tDMSH: Diferencia mínima significativa honesta; E: Porcentaje de emergencia; PNI: Porcentaje de Plántulas normales; IVE: Índice de velocidad de Emergencia; LRI: Longitud de raíz; LPAI: Longitud de la parte aérea de la plántula; PFRI: Peso fresco de raíz; PFAI: Peso fresco de la parte aérea de la plántula; PSRI: Peso seco de raíz; PSAI: Peso seco de la parte aérea de la plántula; CE: Conductividad eléctrica. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Correlación Pearson

El comportamiento del porcentaje de emergencia de radícula (PER) y porcentaje de plántulas normales (PNL) en la prueba de germinación estándar, muestra un comportamiento similar ($r \geq 0.8$) a partir del cuarto día de la prueba, y consecuentemente el porcentaje de plántulas anormales (PAL) y semillas no germinadas (SNGL) presentó el comportamiento inverso (Figura 10). Estos resultados sugieren que la prueba estándar de germinación podría acortarse, particularmente porque al disponer de condiciones ideales de temperatura y humedad relativa, así como asepsia y sustrato adecuado, el comportamiento de la semilla con radícula emergida puede llegar a generar una plántula normal aún si posee algún deterioro por edad u otro factor adverso. De este modo es importante definir las condiciones en la prueba de germinación estándar para cada especie; por ejemplo, en colza, rábano y maíz, se requieren temperaturas y medios de germinación específicos, (luz no específica) (ISTA, 2018). Para el caso de luz, resulta ser un factor de suma importancia debido a que su influencia puede afectar la prueba de ER; en condiciones de oscuridad PER fue mayor que en niveles de luz media y alta (Bodwen y Landais, 2018). Otros aspectos como el tiempo de ER para el caso de semillas envejecidas pueden ser necesarios para la reparación de membranas antes de lograr el alargamiento de la radícula y su protrusión (Mavi *et al.*, 2014).

Es importante considerar la alternativa de evaluar la germinación para fines de certificación en función del porcentaje de protrusión de radícula al cuarto día con base en los resultados de este experimento, particularmente porque el planteamiento ha sido exitoso en otros cultivos; en soja se confirmó la asociación entre la velocidad de la protrusión de la raíz primaria y el porcentaje de germinación con el potencial hídrico, bajo el principio de que la disminución del potencial hídrico retrasa las actividades metabólicas para la movilización de reservas, transporte y asimilación de los productos metabolizados (Pereira *et al.*, 2013).

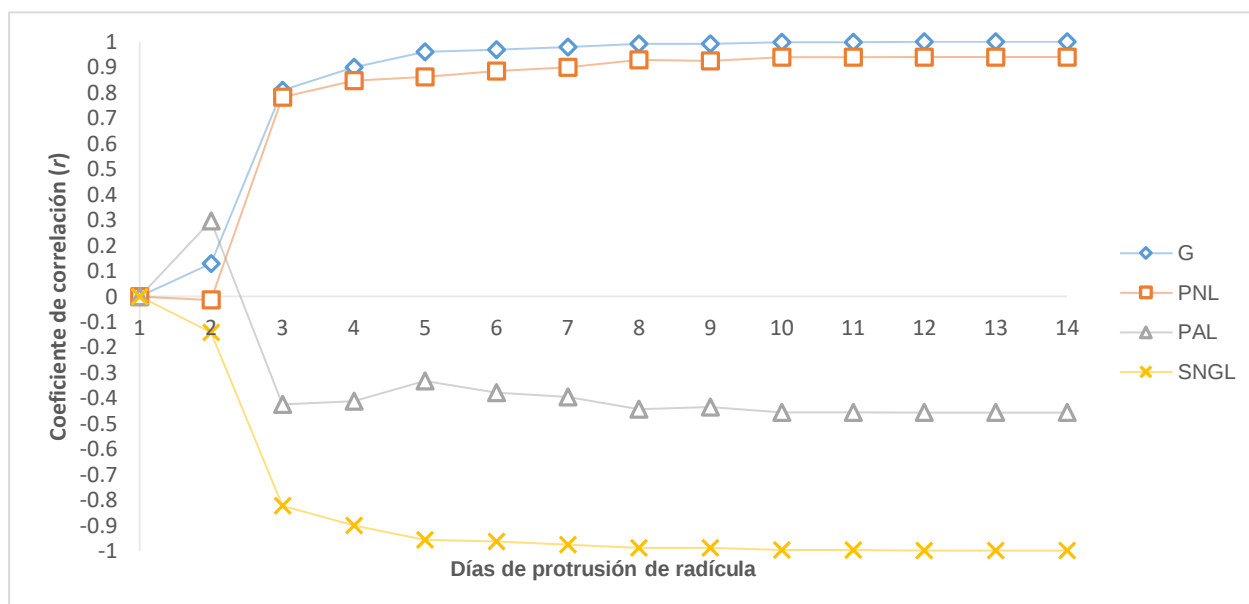


Figura 10. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y los porcentajes de germinación (G), plántulas normales (PNL), plántulas anormales (PNL) y semillas no germinadas (SNGL) obtenidos de una prueba de germinación estándar en laboratorio en semillas de tomate de cáscara.

Los parámetros de vigor evaluados muestran comportamientos constantes a partir del cuarto día de conteo; no obstante, las correlaciones más altas ($p \geq 0.5$) corresponden a IVG, PFRL y PSAL al presentar resultados mayores a $r = 0.60$ (Figura 11). Esta información puede ser utilizada como un punto de referencia para definir aquellos parámetros, además de la emergencia de radícula, que puedan ser utilizados como soporte para predecir el porcentaje de plántulas normales.

Situación similar se ha realizado en otros experimentos, como es el caso del trigo, donde los resultados de los recuentos únicos de emergencia de la radícula se basan en las curvas de progreso de la germinación, porcentaje de germinación, índice de germinación y vigor, tiempo medio de germinación, conductividad eléctrica, prueba de envejecimiento acelerado y emergencia en campo (Guan *et al.*, 2018), parámetros que al ser integrados en un dictamen dan un mejor respaldo del veredicto establecido.

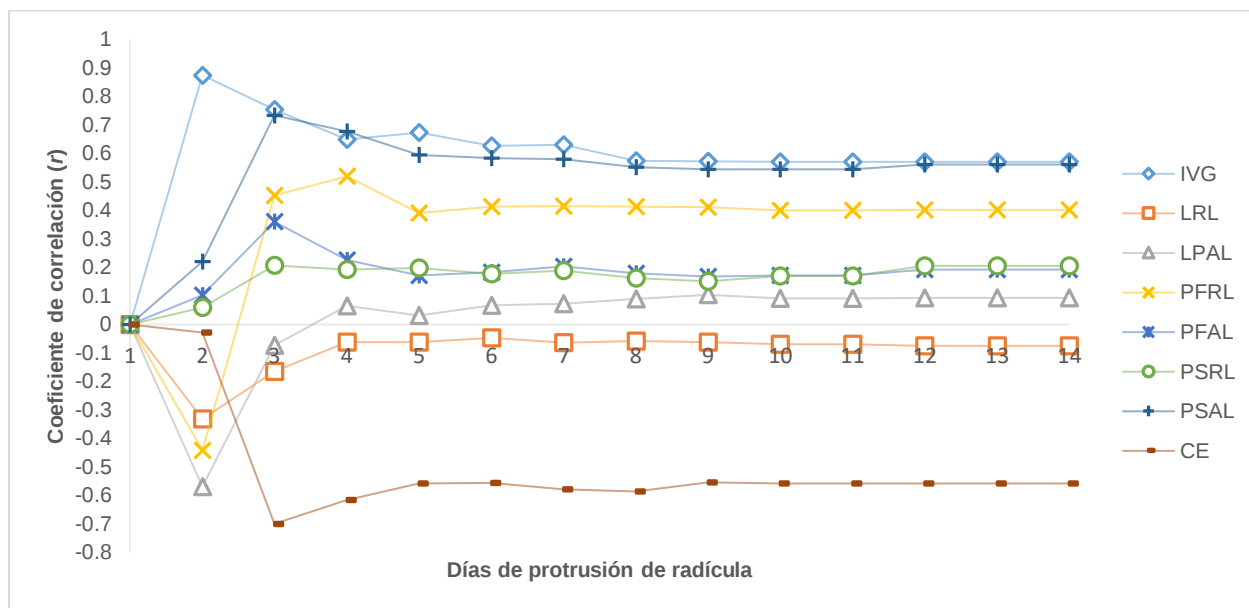


Figura 11. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y ocho variables de vigor obtenidas de una prueba de germinación estándar en laboratorio en semillas de tomate de cáscara.

Los valores de conductividad eléctrica (CE) mostraron un comportamiento negativo ($p \geq 0.5$), resultados hipotéticamente congruentes en virtud de que el incremento en los valores de CE implican la reducción de la germinación de plántulas, comportamiento que puede adjudicarse en este caso a la integridad de la membrana celular (Vieira *et al.*, 2004), aunque también los factores externos y la metodología de la prueba pueden afectar los resultados como la temperatura, periodos de imbibición (Dutra y Viera, 2006), número de semillas (Lopes *et al.*, 2012), así como contenido inicial de humedad en la semilla (Viera *et al.*, 2002). De este modo, no hay que destacar el uso de este parámetro, ya que en rábano la CE de la solución de imbibición fue un predictor efectivo de germinación y emergencia en semillas (Mavi *et al.*, 2014).

La correlación evaluada entre la emergencia de radícula (PER) en laboratorio contra la emergencia de plántula (EI) y porcentaje de plántulas normales (PNI) en invernadero son las mismas, debido a que las EI corresponde por obvias razones a PN; cabe destacar que las correlaciones con PER son bajas, lo que puede adjudicarse a que en invernadero

las condiciones ambientales pueden ser menos favorables que en laboratorio, de modo que puede ser más complicada una rápida y continua emergencia de plántulas (Figura 12). No obstante, cabe mencionar que a partir del conteo de PER en el día dos, los valores de la correlación tienden a ser estables para EI y PNI, por lo que puede ser utilizado como un punto de referencia para pronosticar ambos eventos. En este contexto, existe evidencia de que un conteo temprano de emergencia de radículas durante la prueba de germinación está relacionado con la emergencia en campo (Demir *et al.*, 2005), sin embargo, en este experimento, al tener correlaciones bajas, resulta difícil definir un día en particular que pueda pronosticar la emergencia de plántula en función de la emisión de radícula.

Los parámetros de vigor evaluados en condiciones de invernadero presentan correlaciones negativas con emergencia de radícula, excepto con longitud de la parte aérea de plántula (LPAI), comportamiento que puede deberse a que la emisión de la radícula en general no depende del peso seco de la misma como pudiese ser el caso del peso fresco y seco de plántula, mientras que la longitud de raíz está condicionado su crecimiento al sustrato que fue utilizado por una cuestión física, no así la LPAI. De este modo, aunque el vigor de la semilla contribuye a la calidad de la semilla y es una característica integral que refleja el potencial de emergencia y desarrollo rápido y uniforme de las plántulas normales en una amplia gama de condiciones de campo (ISTA, 2016), en este estudio no muestra una relación estrecha con la emisión de radícula.

Los valores de conductividad eléctrica (CE) presentaron las correlaciones (negativas) más altas con la emergencia de radícula, lo que implica que además de las membranas celulares, posiblemente la cubierta de las semillas tenían también alta permeabilidad, promoviendo consecuentemente una más rápida imbibición y emisión de radícula, e indirectamente un menor vigor, lo que podría explicar el bajo comportamiento entre la emisión de radícula y el porcentaje de emergencia y plántulas normales de la Figura 13, pues se ha mencionado altos valores de CE en pruebas de este tipo, reflejan un efecto negativo en el vigor de las semillas, lo que afecta el establecimiento de plántulas en

campo (Comiotto *et al.*, 2011) y tienen un crecimiento lento o en el peor de los casos encontrar pérdida de la viabilidad de la semilla (Demir *et al.*, 2008).

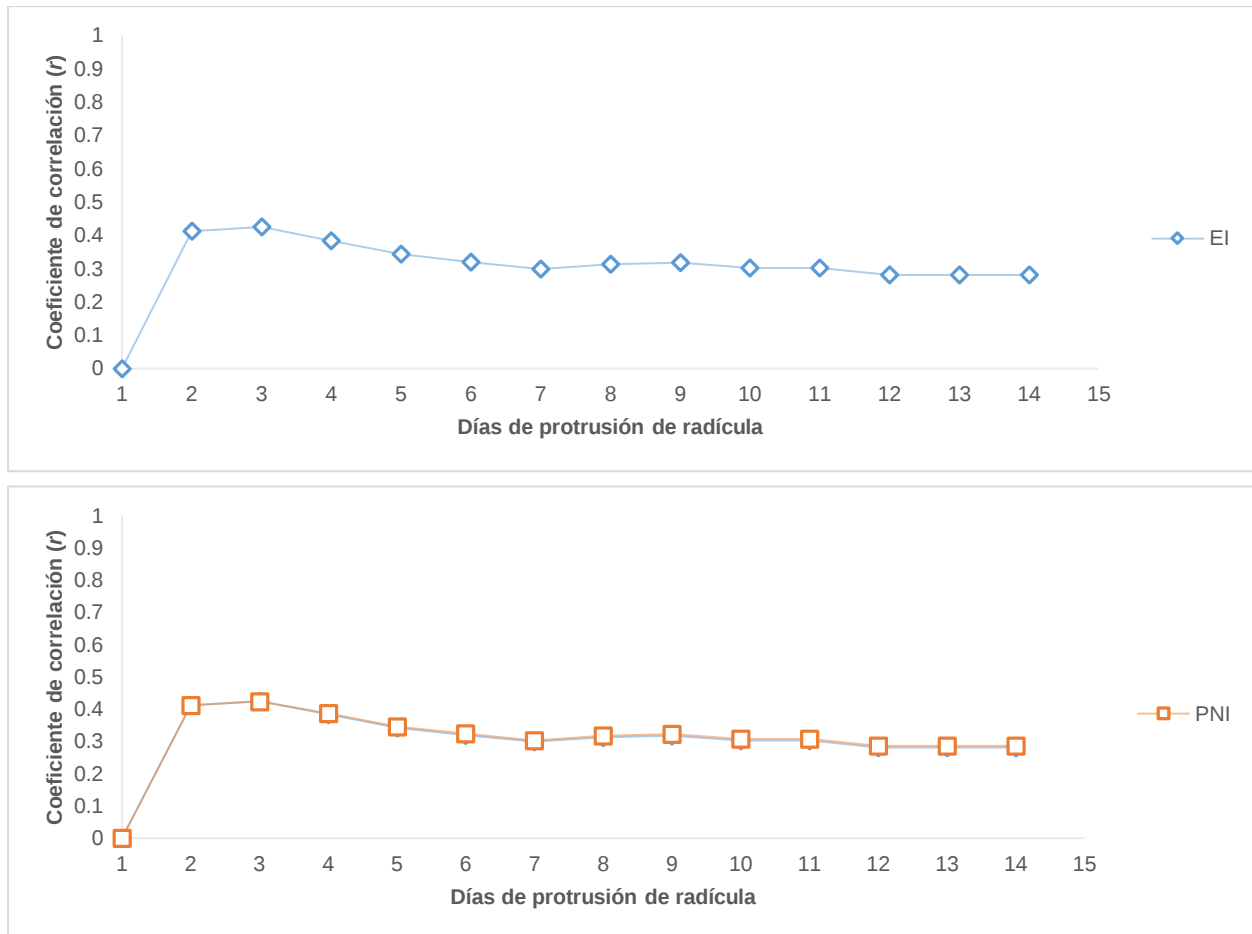


Figura 12. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y el porcentaje de plántulas emergidas (EI) y plántulas normales (PNI) de una prueba de emergencia en charolas bajo invernadero en semillas de tomate de cáscara.

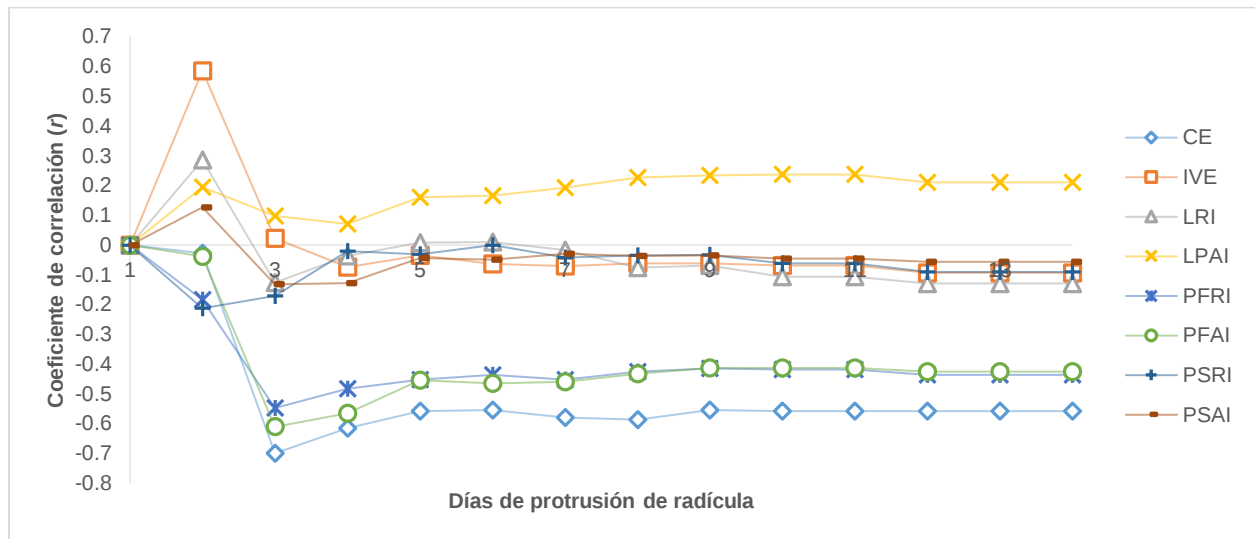


Figura 13. Valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula (PER) por día y ocho variables de vigor obtenidas de una prueba de emergencia en charolas bajo invernadero en semillas de tomate de cáscara.

CONCLUSIONES

Los valores de correlación entre el porcentaje de protrusión de radícula y porcentaje de plántulas normales en semillas de tomate de cáscara, son significativos a partir del cuarto día en una prueba de germinación estándar, lo que puede ser utilizado como punto de referencia para dictaminar el porcentaje de germinación en un proceso de certificación en menor tiempo.

El porcentaje de protrusión de radícula en la germinación estándar, correlacionó positivamente con algunos variables de vigor evaluadas en plántulas de tomate de cáscara.

Los porcentajes de emergencia y plántulas normales obtenidas en charolas bajo condiciones de invernadero, no se correlacionan con el porcentaje de protrusión de radículas obtenidas en una prueba de germinación estándar.

LITERATURA CITADA

- Baloch, H. A.; DiTommaso, A. y Watson, A. K. (2001). Intrapopulation variation in *Abutilon theophrast* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Science*, 11: 333-345.
- Bray, C. M. (1995). Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In: Kigel, J. and Galili, G. (eds.) *Seed Development and germination*. Marcel Dekker, New York. pp. 767-789.
- Bodwen, L. y Landais, L. (2018). The impact of light and high light on seed germination and the radicle emergence test. *Seed Science and Technology*, 46 (3): 465-471.
- Comiotto, A.; Moraes, D. M.; Lopes, N. F. (2011). Potencial alelopático de extratos aquosos de aroeira sobre germinação e crescimento de plântulas de alface. *Scientia Agraria Paranaensis*. 10 (3): 23-31.
- Delouche, J. C. (2002). Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seed News* 6 (6).
Página web: <https://seednews.com.br/edicoes/artigo/2004-germinacion-deterioro-y-vigor-de-semillas-edicao-novembro-2002>. Fecha de consulta: Noviembre, 2018).
- Demir, I.; Ermis, S.; Okcu, G. y Matthews, S. (2005). Vigour tests for predicting seedling emergence of aubergine (*Solanum melongena* L.) seed lots. *Seed Science and Technology*, 33: 481-484.
- Demir, I.; Mavi, K.; Kenanoglu, B. B. y Matthews, S. (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.
- Desai, B. B. (2004). *Seed Handbookj, Biology, Production, Processing and Storage*. Second edition. Marcel Dekker, INV. USA. 787 p.
- Dutra, A. y Vieira, R. D. 2006. Teste de condutividade elétrica para a avaliação do vigor de sementes de abobrinha. *Revista Brasileira de Sementes*. 28 (2):117-122

- Flores, G. A; Alvarez, M. J. G.; Rodriguez de la O, J. L. y Corona, A. A. (2008). Germinación *invitro* de semillas de *Nolina parviflora* (H. B. K.) Hemsl. Foresta veracruzana, 10 (2): 27-33.
- Guan, Y. J.; Yin, M. Q.; Jia, X. W.; An, J. Y.; Wang, C.; Pan, R. H.; Song, W. J. y Hu, J. (2018). Single counts of radicle emergence can be used as a vigour test to predict seedling emergence potential of wheat. Seed Science and Technology, 46 (2): 349-357.
- Hampton, J. G. y TeKrony, D. M. (1995). Handbook of vigour Test Methods. ISTA. pp. 70-78.
- Hyatt, J. E. y TeKrony, D. M. (2008). Factors influencing the saturated salt accelerated aging test in tomato and onion. Seed Science and Technology, 36: 534-545.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2016). Anexo estadístico: Coeficientes de variación y error asociado al estimador. 5 p.
- INTA. (2013). Evaluación de calidad de semillas. Prueba de germinación para semillas de granos básicos. 19 p.
- ISTA. (2016). International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland. 192 p.
- Lamour, A. y Lotz, P. L. A. (2007). The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seed beds. Ecological Modelling. 201: 536-546.
- Leishman, M. R. y Westoby, M. (1994). The role of seed size in seedling establishment in dry soil conditions - experimental evidence from semi-arid species. Journal of ecology, 82 (2): 249-258.
- Lopes, M. M.; Barbosa, R. M. y Vieira, R. D. 2012. Methods for evaluating the physiological potential of Scarlet eggplant (*Solanum aethiopicum*) seeds. Seed Science and Technology, 40(1): 86-94.

- Mavi, K.; Mavi, F.; Demir, I. y Matthews, S. (2014). Electrical conductivity of seed soak water predicts seedling emergence and seed storage potential in commercial seed lots of radish. *Seed Science and Technology*, 42: 76-86.
- Méndez, N. J. R.; Merazo, P. J. F. y Montaña, M. N. J. (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.
- Maguire, J. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2: 176.
- Pereira, W. A.; Pereira, S. M. A. y Dias, D. C. F. S. (2013). Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. *Journal of Seed Science*. 35: 316-322.
- Pérez, M. C.; Carrillo, C. G.; Vidal, L. E. y Ortiz, G. E. (2016). Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de la semilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7 (7): 1765-1773.
- Peña, V. C. B.; Sánchez, U. A. B.; Aguirre, R. J. R.; Trejo, C.; Cárdenas, E. y Villegas, M. A. (2006). Temperature and mechanical scarification on seed germination of "maguey" (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology*, 34: 47-56.
- Powell A. A. (1986). Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. *Journal of seed Technology* 10: 81-100.
- Powell, A. A. y Matthews, S. (2012). Seed ageing /repair hypothesis leads to new testing methods. *Seed Science and Technology*, 34: 15-25.
- Reyes C., P. (1990). Bioestadística aplicada: agronomía, biología, química. Trillas. 2da. Edición. 216 p.

- Rosabal, A. L.; Martínez, G. L.; Reyes, G. Y.; Amico, R. J. D. y Núñez, V. M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. Revisión bibliográfica. Cultivos tropicales. 35 (3): 24-35.
- Silva, S. S.; Vieira, R. D.; Grzybowski, C. R.; Carvalho, T. C. y Panobianco, M. (2013). Electrical conductivity of different common bean genotypes. Journal of Seed Science, 35 (2): 216-224.
- SNICS. (2018). Certificación de semillas. Página web: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/certificacion-de-semillas>. Fecha de consulta: 20/20/18.
- Veselova, T. V. y Veselovsky, D. V. A. (2003). Investigation of atypical germination changes during accelerated ageing of pea seeds. Seed Science and Technology, 31: 517-530.
- Vieira, R. D.; Penariol, A. L.; Perecin, D.; Panobianco, M. (2002). Condutividade elétrica e o teor de água inicial das sementes de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37 (19): 1333-1338.
- Vieira, R. D.; Neto, A. S.; de Bittencourt S. R. M. y Panobianco, M. (2004). Electrical conductivity of the seed soaking solution and soybean seedling emergence. Scientia agrícola. 61 (2): 164-168.
- Vidigal, D. S., D. C. F. S. Dias, D. S. P. C. Naveira, F. B. Rocha and M. C. Bhering (2006). Qualidade fisiológica de sementes de tomate em função da idade e do armazenamento pós-colheita dos frutos. Revista Brasileira de Sementes 28: 87-93.

ANEXOS

Cuadro 12. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de emergencia y vigor en semillas de jitomate con separación simple.

*DPR	E	IVE	PNI	LRI	LPAI	PFRI	PSRI	PFAI	PSAI	CE
4	0.44104	0.62246	0.4544	0.20036	0.38238	0.10167	0.19345	0.21266	0.14728	-0.03349
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0503	0.0001	0.3243	0.059	0.0375	0.1521	0.746
5	0.74787	0.86573	0.74507	0.27599	0.36547	0.187	0.29791	0.26995	0.21447	-0.18951
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0065	0.0003	0.0681	0.0032	0.0078	0.0359	0.0644
6	0.92151	0.93448	0.90026	0.27556	0.35658	0.23247	0.30173	0.18802	0.15304	-0.3212
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0066	0.0004	0.0227	0.0028	0.0666	0.1366	0.0014
7	0.95799	0.94268	0.92943	0.28275	0.33937	0.23089	0.27286	0.17575	0.14125	-0.31555
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0052	0.0007	0.0236	0.0072	0.0868	0.1698	0.0017
8	0.98678	0.9424	0.95456	0.28972	0.29829	0.23759	0.25271	0.14871	0.12276	-0.32645
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0042	0.0032	0.0198	0.013	0.1482	0.2334	0.0012
9	0.99952	0.93064	0.96606	0.2704	0.2578	0.20892	0.20728	0.09824	0.09806	-0.32985
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0077	0.0112	0.0411	0.0427	0.341	0.3419	0.001
10	0.99984	0.92879	0.96641	0.26882	0.2519	0.20577	0.20333	0.09099	0.09445	-0.3336
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0081	0.0133	0.0443	0.0469	0.378	0.36	0.0009
11	0.99996	0.92859	0.96646	0.2674	0.25175	0.20542	0.20369	0.09127	0.09439	-0.33396
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0084	0.0134	0.0447	0.0465	0.3765	0.3603	0.0009
12	0.99996	0.92859	0.96646	0.2674	0.25175	0.20542	0.20369	0.09127	0.09439	-0.33396
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0084	0.0134	0.0447	0.0465	0.3765	0.3603	0.0009
13	0.99996	0.92859	0.96646	0.2674	0.25175	0.20542	0.20369	0.09127	0.09439	-0.33396
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0084	0.0134	0.0447	0.0465	0.3765	0.3603	0.0009
14	0.99996	0.92859	0.96646	0.2674	0.25175	0.20542	0.20369	0.09127	0.09439	-0.33396
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0084	0.0134	0.0447	0.0465	0.3765	0.3603	0.0009

*DPR: Días de protrusión de radícula

Cuadro 13. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de germinación y vigor en semillas de jitomate con separación simple.

DDR	G	IVG	PNL	PAL	SNGL	LRL	LPAL	PFRL	PSRL	PFAL	PSAL	CE
1	-0.03516	0.10504	-0.09585	0.1799	0.0353	-0.10574	-0.10086	-0.06438	-0.11581	-0.14106	0.04374	-0.01634
	0.7338	0.3084	0.3529	0.0794	0.7327	0.3052	0.3282	0.5332	0.2612	0.1704	0.6722	0.8745
2	0.42533	0.80348	0.47725	-0.23498	-0.4248	-0.03317	0.01489	-0.41103	-0.22199	-0.40869	-0.18426	-0.35596
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0212	<.0001	0.7483	0.8855	<.0001	0.0297	<.0001	0.0723	0.0004
3	0.67532	0.93818	0.73983	-0.32224	-0.6753	0.07797	-0.00733	-0.15424	-0.23547	-0.26859	0.07341	-0.45411
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0014	<.0001	0.4502	0.9435	0.1335	0.0209	0.0081	0.4772	<.0001
4	0.8556	0.96088	0.86824	-0.21624	-0.85579	0.14862	0.04389	0.08544	-0.10363	-0.092	0.05144	-0.48769
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0343	<.0001	0.1484	0.6711	0.4079	0.315	0.3727	0.6187	<.0001
5	0.92653	0.94735	0.90087	-0.12533	-0.92658	0.19221	0.04681	0.14537	-0.04824	-0.01397	0.03212	-0.49443
	<.0001	<.0001	<.0001	0.2237	<.0001	0.0606	0.6506	0.1576	0.6407	0.8925	0.756	<.0001
6	0.96032	0.92665	0.91909	-0.08946	-0.96034	0.23028	0.05204	0.185	-0.01007	0.03679	-0.01122	-0.50604
	<.0001	<.0001	<.0001	0.3861	<.0001	0.024	0.6146	0.0712	0.9224	0.722	0.9136	<.0001
7	0.98596	0.8963	0.94198	-0.08762	-0.98596	0.27089	0.08531	0.24687	0.06797	0.10284	-0.0613	-0.47868
	<.0001	<.0001	<.0001	0.396	<.0001	0.0076	0.4085	0.0153	0.5105	0.3187	0.553	<.0001
8	0.99218	0.88126	0.94076	-0.06836	-0.99217	0.28506	0.10212	0.26849	0.10436	0.13784	-0.07189	-0.47697
	<.0001	<.0001	<.0001	0.5081	<.0001	0.0049	0.3221	0.0082	0.3116	0.1805	0.4864	<.0001
9	0.99733	0.86635	0.94154	-0.05715	-0.99733	0.28787	0.11441	0.28879	0.13404	0.16264	-0.07289	-0.46888
	<.0001	<.0001	<.0001	0.5802	<.0001	0.0045	0.267	0.0043	0.1929	0.1134	0.4803	<.0001
10	0.99884	0.85642	0.93501	-0.0352	-0.99885	0.28374	0.11837	0.29272	0.14601	0.17002	-0.07601	-0.46601
	<.0001	<.0001	<.0001	0.7335	<.0001	0.0051	0.2507	0.0038	0.1558	0.0977	0.4617	<.0001
11	0.99924	0.85189	0.93334	-0.02956	-0.99924	0.28991	0.11838	0.2919	0.14441	0.17307	-0.07093	-0.46596
	<.0001	<.0001	<.0001	0.775	<.0001	0.0042	0.2507	0.0039	0.1604	0.0918	0.4922	<.0001
12	0.99972	0.85088	0.93354	-0.0289	-0.99971	0.2911	0.12092	0.2942	0.14391	0.17605	-0.06976	-0.46508
	<.0001	<.0001	<.0001	0.7799	<.0001	0.004	0.2406	0.0036	0.1619	0.0862	0.4994	<.0001
13	1	0.84893	0.93312	-0.02702	-0.99999	0.29202	0.12472	0.29566	0.14354	0.1789	-0.06888	-0.46491
	<.0001	<.0001	<.0001	0.7938	<.0001	0.0039	0.226	0.0034	0.1629	0.0812	0.5049	<.0001
14	1	0.84893	0.93312	-0.02702	-0.99999	0.29202	0.12472	0.29566	0.14354	0.1789	-0.06888	-0.46491
	<.0001	<.0001	<.0001	0.7938	<.0001	0.0039	0.226	0.0034	0.1629	0.0812	0.5049	<.0001

*DPR: Días de protrusión de radícula

Cuadro 14. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de emergencia y vigor en semillas de jitomate separadas por fermentación.

DPR	E	IVE	PNI	LRI	LPAI	PFRI	PSRI	PFAI	PSAI	CE
X5	0.75608	0.89549	0.75608	0.58535	0.51045	0.50175	0.81042	0.80801	0.87469	-0.08918
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.3979
X6	0.7663	0.91276	0.7663	0.51689	0.51447	0.47719	0.7564	0.8219	0.85738	-0.1138
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.2801
X7	0.86377	0.95992	0.86377	0.46908	0.49025	0.43883	0.73566	0.81059	0.85074	-0.19836
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.058
X8	0.92111	0.98	0.92111	0.47415	0.51337	0.43142	0.75251	0.82341	0.87038	-0.22593
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0303
X9	0.93585	0.98312	0.93585	0.47172	0.50168	0.44397	0.75647	0.82872	0.87333	-0.24735
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0174
X10	0.94765	0.97877	0.94765	0.46702	0.4957	0.42748	0.75803	0.82171	0.86196	-0.2402
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0211
X11	0.98014	0.97513	0.98014	0.43031	0.48119	0.4127	0.74703	0.81249	0.84943	-0.26733
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.01
X12	0.99367	0.96766	0.99367	0.41369	0.46725	0.40841	0.7531	0.81122	0.84281	-0.28277
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0063
X13	0.99847	0.96141	0.99847	0.39762	0.45562	0.40432	0.75156	0.80298	0.83439	-0.28929
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0052
X14	1	0.95506	1	0.38376	0.44672	0.39707	0.74836	0.79423	0.82619	-0.29417
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0044

*DPR: Días de protrusión de radícula

Cuadro 15. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de germinación y vigor en semillas de jitomate separadas por fermentación.

DPR	G	IVG	PNL	PAL	SNGL	LRL	LPAL	PFRL	PSRL	PFAL	PSAL	CE
X1	-0.20976 0.0448	-0.17205 0.101	-0.26273 0.0114	0.21593 0.0387	0.21032 0.0442	0.1068 0.3109	0.06037 0.5676	-0.1123 0.2865	0.05809 0.5823	0.01172 0.9117	-0.25134 0.0157	-0.02487 0.814
X2	0.43983 <.0001	0.58333 <.0001	0.37295 0.0003	0.01833 0.8623	-0.4397 <.0001	0.1512 0.1502	0.02795 0.7914	0.39979 <.0001	-0.17063 0.1039	0.33653 0.001	-0.0963 0.3612	0.04064 0.7005
X3	0.75357 <.0001	0.87904 <.0001	0.77554 <.0001	-0.33009 0.0013	-0.75326 <.0001	0.18852 0.0719	0.04928 0.6409	0.34268 0.0008	-0.34268 0.0008	0.2988 0.0038	-0.06175 0.5587	-0.27519 0.0079
X4	0.83726 <.0001	0.95035 <.0001	0.85251 <.0001	-0.34249 0.0008	-0.83706 <.0001	0.17965 0.0866	0.02236 0.8324	0.33319 0.0012	-0.36081 0.0004	0.28054 0.0068	-0.06266 0.5529	-0.35436 0.0005
X5	0.91682 <.0001	0.95808 <.0001	0.92448 <.0001	-0.35111 0.0006	-0.91658 <.0001	0.19553 0.0618	0.054 0.6092	0.34274 0.0008	-0.23923 0.0216	0.31057 0.0026	-0.01056 0.9204	-0.38404 0.0002
X6	0.95897 <.0001	0.95682 <.0001	0.94397 <.0001	-0.30635 0.003	-0.9587 <.0001	0.19539 0.062	0.04117 0.6968	0.35884 0.0004	-0.11443 0.2774	0.32713 0.0015	-0.01164 0.9123	-0.41845 <.0001
X7	0.97958 <.0001	0.94447 <.0001	0.9443 <.0001	-0.26008 0.0123	-0.97928 <.0001	0.20417 0.0509	0.05511 0.6018	0.36849 0.0003	-0.02876 0.7855	0.35034 0.0006	-0.01725 0.8704	-0.42517 <.0001
X8	0.9856 <.0001	0.93652 <.0001	0.94357 <.0001	-0.24437 0.0189	-0.9853 <.0001	0.21716 0.0376	0.05452 0.6057	0.3664 0.0003	-0.00019 0.9985	0.35215 0.0006	-0.00299 0.9775	-0.42159 <.0001
X9	0.99149 <.0001	0.92913 <.0001	0.94186 <.0001	-0.22639 0.03	-0.99127 <.0001	0.22589 0.0304	0.04814 0.6486	0.37293 0.0003	0.00848 0.936	0.36192 0.0004	-0.00428 0.9677	-0.41693 <.0001
X10	0.99334 <.0001	0.92588 <.0001	0.93861 <.0001	-0.21357 0.0409	-0.99319 <.0001	0.22539 0.0308	0.04543 0.6672	0.37312 0.0002	0.01434 0.8921	0.3607 0.0004	-0.00891 0.9329	-0.41253 <.0001
X11	0.99626 <.0001	0.9239 <.0001	0.93782 <.0001	-0.2048 0.0502	-0.99612 <.0001	0.22975 0.0276	0.04758 0.6525	0.36881 0.0003	0.01946 0.8539	0.36031 0.0004	-0.01132 0.9147	-0.41116 <.0001
X12	0.99794 <.0001	0.91667 <.0001	0.93465 <.0001	-0.19256 0.0659	-0.99781 <.0001	0.22912 0.028	0.0517 0.6246	0.37032 0.0003	0.0338 0.7491	0.36261 0.0004	-0.01329 0.8999	-0.40917 <.0001
X13	0.99928 <.0001	0.91471 <.0001	0.92943 <.0001	-0.17568 0.0939	-0.99919 <.0001	0.22916 0.028	0.05202 0.6224	0.3647 0.0004	0.03475 0.7423	0.35936 0.0004	-0.01688 0.8731	-0.40405 <.0001
X14	0.99984 <.0001	0.91073 <.0001	0.92926 <.0001	-0.17395 0.0973	-0.99982 <.0001	0.22693 0.0296	0.05799 0.583	0.3645 0.0004	0.03808 0.7185	0.36056 0.0004	-0.01402 0.8945	-0.40371 <.0001

*DPR: Días de protrusión de radícula

Cuadro 16. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de emergencia y vigor en semillas de jitomate separadas por fermentación con desinfección.

DPR	E	IVE	PNI	LRI	LPAI	PFRI	PSRI	PFAI	PSAI	CE
X4	0.05485	0.10234	0.05485	-0.00064	0.11785	-0.11959	-0.06179	0.09202	0.12338	0.05929
	0.6289	0.3664	0.6289	0.9955	0.2978	0.2907	0.5861	0.4169	0.2755	0.6014
X5	0.05485	0.10234	0.05485	-0.00064	0.11785	-0.11959	-0.06179	0.09202	0.12338	0.05929
	0.6289	0.3664	0.6289	0.9955	0.2978	0.2907	0.5861	0.4169	0.2755	0.6014
X6	0.0809	0.15902	0.0809	0.12156	0.13415	-0.09559	-0.12968	0.19626	0.15441	-0.21194
	0.4756	0.1589	0.4756	0.2827	0.2355	0.399	0.2516	0.081	0.1714	0.0591
X7	0.59592	0.70791	0.59592	0.1078	0.43049	-0.06355	-0.2955	0.2886	0.6476	-0.42442
	<.0001	<.0001	<.0001	0.3412	<.0001	0.5755	0.0078	0.0094	<.0001	<.0001
X8	0.63544	0.74282	0.63544	0.15767	0.43628	-0.10376	-0.2654	0.34722	0.61865	-0.49493
	<.0001	<.0001	<.0001	0.1625	<.0001	0.3597	0.0173	0.0016	<.0001	<.0001
X9	0.81994	0.89408	0.81994	0.11012	0.32807	-0.16173	-0.31546	0.40775	0.72102	-0.52034
	<.0001	<.0001	<.0001	0.3308	0.003	0.1518	0.0044	0.0002	<.0001	<.0001
X10	0.93957	0.96964	0.93957	0.17005	0.24197	-0.11233	-0.33869	0.46452	0.76927	-0.57621
	<.0001	<.0001	<.0001	0.1315	0.0306	0.3212	0.0021	<.0001	<.0001	<.0001
X11	0.94056	0.97017	0.94056	0.17684	0.23624	-0.1202	-0.33715	0.47279	0.77207	-0.56856
	<.0001	<.0001	<.0001	0.1166	0.0349	0.2882	0.0022	<.0001	<.0001	<.0001
X12	0.97303	0.98413	0.97303	0.20478	0.22023	-0.14001	-0.33479	0.47993	0.79313	-0.58358
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0684	0.0496	0.2155	0.0024	<.0001	<.0001	<.0001
X13	0.98911	0.98557	0.98911	0.18667	0.22338	-0.12856	-0.33319	0.50184	0.80347	-0.57881
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0973	0.0464	0.2557	0.0025	<.0001	<.0001	<.0001
X14	1	0.98563	1	0.18142	0.2223	-0.10969	-0.35284	0.52004	0.8215	-0.57621
	<.0001	<.0001	<.0001	0.1073	0.0475	0.3327	0.0013	<.0001	<.0001	<.0001

*DPR: Días de protrusión de radícula

Cuadro 17. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de germinación y vigor en semillas de jitomate separadas por fermentación con desinfección.

DPR	G	IVG	PNL	PAL	SNGL	LRL	LPAL	PFRL	PSRL	PFAL	PSAL	CE
X1	0.15334	0.3529	0.09841	0.17271	-0.15334	0.15044	-0.07576	-0.07517	-0.07196	-0.02062	-0.20008	-0.33236
	0.1745	0.0013	0.3852	0.1255	0.1745	0.1829	0.5042	0.5075	0.5259	0.8559	0.0752	0.0026
X2	0.32237	0.6102	0.24585	0.25386	-0.32237	0.15338	-0.02007	0.06387	0.11463	0.11135	-0.20243	-0.46656
	0.0035	<.0001	0.0279	0.0231	0.0035	0.1744	0.8598	0.5736	0.3113	0.3255	0.0717	<.0001
X3	0.60988	0.83652	0.49914	0.38486	-0.60988	0.44849	0.06336	0.17164	0.29507	0.03604	-0.15399	-0.52051
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0004	<.0001	<.0001	0.5766	0.1279	0.0079	0.751	0.1726	<.0001
X4	0.83478	0.94486	0.74168	0.36287	-0.83478	0.55526	0.0777	0.19314	0.27486	0.05234	0.01997	-0.51144
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0009	<.0001	<.0001	0.4933	0.0861	0.0136	0.6447	0.8605	<.0001
X5	0.92475	0.94969	0.87099	0.26355	-0.92475	0.63525	0.12219	0.10756	0.25856	0.05749	0.02394	-0.43658
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0182	<.0001	<.0001	0.2802	0.3423	0.0206	0.6125	0.833	<.0001
X6	0.94967	0.93989	0.90204	0.24941	-0.94967	0.62863	0.10655	0.10186	0.23648	0.02551	0.00521	-0.42507
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0257	<.0001	<.0001	0.3468	0.3686	0.0347	0.8222	0.9634	<.0001
X7	0.97041	0.93199	0.93349	0.22195	-0.97041	0.63914	0.1086	0.11721	0.22075	0.02513	-0.01278	-0.4158
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0479	<.0001	<.0001	0.3376	0.3005	0.0491	0.8249	0.9104	0.0001
X8	0.97694	0.93561	0.94051	0.22137	-0.97694	0.63802	0.10093	0.16485	0.19155	0.03748	-0.0385	-0.42924
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0485	<.0001	<.0001	0.373	0.1439	0.0887	0.7414	0.7346	<.0001
X9	0.98542	0.93395	0.93589	0.25909	-0.98542	0.65436	0.12701	0.1596	0.18163	0.04763	-0.06081	-0.41235
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0203	<.0001	<.0001	0.2616	0.1573	0.1069	0.6748	0.5921	0.0001
X10	0.99451	0.92522	0.9365	0.28398	-0.99451	0.66097	0.1412	0.15869	0.18277	0.06742	-0.067	-0.39648
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0107	<.0001	<.0001	0.2115	0.1597	0.1047	0.5524	0.5549	0.0003
X11	0.99878	0.92086	0.93805	0.29216	-0.99878	0.65955	0.13647	0.15105	0.17286	0.06379	-0.07382	-0.38497
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0085	<.0001	<.0001	0.2274	0.1811	0.1252	0.574	0.5152	0.0004
X12	0.99934	0.91792	0.93838	0.29284	-0.99934	0.66002	0.14608	0.14808	0.16139	0.06844	-0.08146	-0.38466
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0084	<.0001	<.0001	0.196	0.1899	0.1527	0.5464	0.4726	0.0004
X13	0.99947	0.91701	0.93868	0.2924	-0.99947	0.65784	0.14599	0.14737	0.1609	0.06367	-0.08107	-0.38083
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0085	<.0001	<.0001	0.1963	0.1921	0.1539	0.5747	0.4747	0.0005
X14	0.99934	0.91792	0.93838	0.29284	-0.99934	0.66002	0.14608	0.14808	0.16139	0.06844	-0.08146	-0.38466
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0084	<.0001	<.0001	0.196	0.1899	0.1527	0.5464	0.4726	0.0004

*DPR: Días de protrusión de radícula

Cuadro 18. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de germinación y vigor en semillas de 4 variedades de tomate.

*DPR	E	IVE	PNI	LRI	LPAI	PFRI	PFAI	PSRI	PSAI	CE
2	0.41244	0.58614	0.41162	0.28574	0.19518	-0.18303	-0.03831	-0.21257	0.12678	-0.02762
	0.1124	0.017	0.1132	0.2833	0.4688	0.4975	0.888	0.4293	0.6399	0.9191
3	0.42528	0.02237	0.42408	-0.12687	0.09738	-0.54771	-0.61086	-0.17103	-0.13208	-0.69949
	0.1005	0.9345	0.1016	0.6396	0.7198	0.0281	0.0119	0.5265	0.6258	0.0026
4	0.3839	-0.07495	0.38801	-0.03696	0.07149	-0.48206	-0.56524	-0.02005	-0.12813	-0.6162
	0.1421	0.7826	0.1375	0.8919	0.7925	0.0586	0.0225	0.9412	0.6363	0.011
5	0.34301	-0.03451	0.34614	0.00904	0.16122	-0.45177	-0.4535	-0.03034	-0.04434	-0.55863
	0.1934	0.899	0.1891	0.9735	0.5509	0.079	0.0777	0.9112	0.8705	0.0245
6	0.31909	-0.06278	0.32392	0.00949	0.16658	-0.4359	-0.46465	0.00006	-0.04994	-0.55521
	0.2283	0.8173	0.221	0.9722	0.5375	0.0915	0.0698	0.9998	0.8543	0.0256
7	0.29956	-0.07074	0.30328	-0.01672	0.19275	-0.45232	-0.45883	-0.04148	-0.02924	-0.57923
	0.2597	0.7946	0.2535	0.951	0.4745	0.0786	0.0738	0.8788	0.9144	0.0187
8	0.31366	-0.06094	0.31749	-0.07557	0.22616	-0.42555	-0.43306	-0.03503	-0.03596	-0.58673
	0.2368	0.8226	0.2308	0.7809	0.3996	0.1003	0.0938	0.8975	0.8948	0.0169
9	0.31837	-0.06231	0.32249	-0.06827	0.23458	-0.41439	-0.41264	-0.03327	-0.03441	-0.55479
	0.2295	0.8187	0.2231	0.8016	0.3818	0.1105	0.1122	0.9027	0.8993	0.0257
10	0.30268	-0.06793	0.30749	-0.10587	0.23692	-0.41797	-0.41326	-0.06142	-0.04476	-0.55739
	0.2545	0.8026	0.2466	0.6964	0.377	0.1072	0.1116	0.8212	0.8693	0.0249
11	0.30268	-0.06793	0.30749	-0.10587	0.23692	-0.41797	-0.41326	-0.06142	-0.04476	-0.55739
	0.2545	0.8026	0.2466	0.6964	0.377	0.1072	0.1116	0.8212	0.8693	0.0249
12	0.28069	-0.09313	0.28597	-0.12909	0.21081	-0.43692	-0.4255	-0.08975	-0.05659	-0.55831
	0.2923	0.7316	0.2829	0.6337	0.4332	0.0906	0.1004	0.741	0.8351	0.0246
13	0.28069	-0.09313	0.28597	-0.12909	0.21081	-0.43692	-0.4255	-0.08975	-0.05659	-0.55831
	0.2923	0.7316	0.2829	0.6337	0.4332	0.0906	0.1004	0.741	0.8351	0.0246
14	0.28069	-0.09313	0.28597	-0.12909	0.21081	-0.43692	-0.4255	-0.08975	-0.05659	-0.55831
	0.2923	0.7316	0.2829	0.6337	0.4332	0.0906	0.1004	0.741	0.8351	0.0246

*DPR: Días de protrusión de radícula

Cuadro 19. Correlación Pearson entre porcentaje de protrusión de radícula por día y variables de emergencia y vigor en semillas de 4 variedades de tomate.

	G	IVG	PNL	PAL	SNGL	LRL	LPAL	PFRL	PFAL	PSRL	PSAL	CE
2	0.12973	0.87535	-0.01446	0.29643	-0.1403	-0.33122	-0.56938	-0.44121	0.1033	0.05983	0.2205	-0.02762
	0.632	<.0001	0.9576	0.2649	0.6043	0.2102	0.0213	0.0871	0.7034	0.8258	0.4119	0.9191
3	0.80989	0.75412	0.78212	-0.42402	-0.821	-0.16455	-0.07388	0.45304	0.36064	0.20741	0.7346	-0.69949
	0.0001	0.0007	0.0003	0.1017	<.0001	0.5425	0.7857	0.078	0.17	0.4408	0.0012	0.0026
4	0.89992	0.64891	0.84621	-0.41158	-0.89968	-0.06154	0.06484	0.52047	0.22755	0.19304	0.67885	-0.6162
	<.0001	0.0065	<.0001	0.1132	<.0001	0.8209	0.8114	0.0387	0.3967	0.4738	0.0038	0.011
5	0.95972	0.67452	0.86119	-0.33137	-0.95594	-0.06221	0.03228	0.39082	0.17194	0.19866	0.59494	-0.55863
	<.0001	0.0042	<.0001	0.2099	<.0001	0.819	0.9055	0.1345	0.5243	0.4608	0.0151	0.0245
6	0.96811	0.62678	0.88515	-0.37711	-0.96264	-0.04721	0.06795	0.41372	0.18367	0.17886	0.58347	-0.55521
	<.0001	0.0094	<.0001	0.1499	<.0001	0.8622	0.8026	0.1112	0.4959	0.5075	0.0177	0.0256
7	0.97887	0.6302	0.90017	-0.3948	-0.97493	-0.06295	0.07274	0.41538	0.20366	0.18875	0.58114	-0.57923
	<.0001	0.0089	<.0001	0.1302	<.0001	0.8168	0.7889	0.1096	0.4493	0.4839	0.0182	0.0187
8	0.99114	0.5757	0.92797	-0.4428	-0.98745	-0.0576	0.0901	0.41455	0.17968	0.16248	0.55178	-0.58673
	<.0001	0.0196	<.0001	0.0859	<.0001	0.8322	0.74	0.1104	0.5055	0.5477	0.0267	0.0169
9	0.99082	0.57239	0.92451	-0.43441	-0.98777	-0.06095	0.10431	0.41173	0.16783	0.1521	0.54548	-0.55479
	<.0001	0.0205	<.0001	0.0927	<.0001	0.8226	0.7006	0.1131	0.5344	0.5739	0.0289	0.0257
10	0.99794	0.57143	0.93824	-0.45603	-0.99564	-0.06984	0.09219	0.40067	0.17198	0.17141	0.5444	-0.55739
	<.0001	0.0208	<.0001	0.0758	<.0001	0.7972	0.7342	0.1241	0.5242	0.5256	0.0292	0.0249
11	0.99794	0.57143	0.93824	-0.45603	-0.99564	-0.06984	0.09219	0.40067	0.17198	0.17141	0.5444	-0.55739
	<.0001	0.0208	<.0001	0.0758	<.0001	0.7972	0.7342	0.1241	0.5242	0.5256	0.0292	0.0249
12	1	0.57115	0.93997	-0.45644	-0.99807	-0.07455	0.09306	0.40188	0.1926	0.20547	0.56249	-0.55831
	<.0001	0.0208	<.0001	0.0755	<.0001	0.7838	0.7318	0.1228	0.4748	0.4452	0.0233	0.0246
13	1	0.57115	0.93997	-0.45644	-0.99807	-0.07455	0.09306	0.40188	0.1926	0.20547	0.56249	-0.55831
	<.0001	0.0208	<.0001	0.0755	<.0001	0.7838	0.7318	0.1228	0.4748	0.4452	0.0233	0.0246
14	1	0.57115	0.93997	-0.45644	-0.99807	-0.07455	0.09306	0.40188	0.1926	0.20547	0.56249	-0.55831
	<.0001	0.0208	<.0001	0.0755	<.0001	0.7838	0.7318	0.1228	0.4748	0.4452	0.0233	0.0246

*DPR: Días de protrusión de radícula