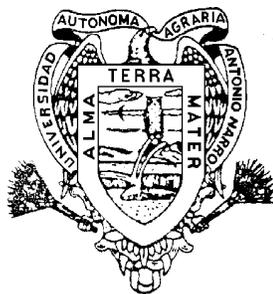


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE AGRONOMIA



**Análisis Comparativo de Calidad Fisiológica de Semilla de Algodón
(*Gossypium hirsutum L.*) Transgénico y Convencional.**

IGNACIO ARIAS CAMPOS

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

Ingeniero

Agrónomo en Producción

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2001.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE
ALGODÓN TRANSGÉNICO Y CONVENCIONAL.**

POR:

IGNACIO ARIAS CAMPOS

TESIS

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCIÓN.

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL

VOCAL

Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Dr. Salvador Godoy Avila

M. C. Víctor M. Serrato Castrillón

M. C. Antonio Rodríguez Rodríguez

VOCAL

VOCAL SUPLENTE

COORDINADOR DE LA DIVISION DE AGRONOMIA

MC. Reynaldo Alonso Velasco.

Buenvista, Saltillo, Coahuila, Mex.

AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento al comité de asesoría y a todas las personas que depositaron su confianza y apoyo en mi para la elaboración de este trabajo: Dra. Norma A. Ruiz, MC. Víctor M. Serrato C., Dr. Salvador Godoy Avila, M. C. Antonio Rodríguez, al personal del laboratorio de análisis de semillas del C. C. D. T. S. (Lulú, Alejandra y Sandra) además de su amistad, comprensión, dedicación y enseñanzas transmitidas.

Un agradecimiento en especial a la encargada del centro de computo de Producción Sandra López Betancourt por su paciencia, amistad y consejos, durante la captura de datos del presente trabajo.

También mi agradecimiento a mi Alma Terra Mater por haberme acogido en su seno para tratar de superarme en esta profesión de constantes cambios, por mi parte pondré todo lo que sea necesario para no defraudarla.

DEDICATORIA

A Dios:

Fuente inagotable de la existencia humana.

A mis padres

Vicente Arias Parra. (+)

Quien desde el cielo me cuida y siempre quiso verme llegar a culminar parte de mi formación como profesionalista.

Ignacia Campos Contreras.

Quien supo inculcarme valores para mi formación personal y superación profesional entregando buena parte de su vida para ello.

A mis hermanos.

Rosa Elva, Ma. Evelia, Angélica Patricia, Vicente y Héctor Miguel.

Por su apoyo incondicional.

Con afecto especial.

A mi sobrina y ahijada Evelin Alejandra.

Muy especialmente a mi futura esposa.

Nancy L. Flores Garcilazo.

Por todo lo que ha pasado durante nuestro noviazgo, esperando que culmine en la unión de nuestras vidas para siempre, con cariño y agradecimiento por todo.

A mis abuelitos

Ventura Contreras y Sebastián Campos.

Valentina Parra y Cesario Arias (+).

Conrado Sánchez (+).

A mis tíos y primos.

Ma. De Jesús, Margarita, Consuelo, Lic. Alma D., Ma. Concepción, Josefina, Rosario, Felicitas, Marta, Carmen, Lic. Celia, Ray, Ing. Emilio, Padrino Ramón, Chalio, Tomas, Estela, Juan, Lupe, Tony, Efrain (cebra), Karina, Almita (meme), Ramón (nedfor), Juan Carlos (ney), Juan (mococo), Nenita, Mayra, Mirna, Juanito, Andrea y Ramón (royer).

A mis compañeros de cuarto y paisanos.

Silvino (chimino), Valentín, J. Antonio, Edy, Rafael (pigui), Checo, Guillermo, Pablo, Cocula, Colima, Nemorio, Oscar, Ramiro, Tito, Cesar (gato), Ponce, Arturo y Juan R.

INDICE DE CONTENIDO.

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
INDICE DE CONTENIDO.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
I INTRODUCCIÓN.....	1
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Clasificación.....	4
2.2 Producción mundial.....	4
2.3 Algodón Bollgard y Roundup.....	4
2.4 Germinación estándar.....	7
2.5 Vigor.....	10
2.5.1 Evaluación del vigor.....	12
2.5.2 Prueba de envejecimiento artificial.....	13
2.5.3 Factores que afectan el vigor.....	14
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Material experimental.....	16
3.2 Ensayo de germinación estándar.....	19
3.3 Peso de materia fresca y seca de plántulas y longitud de plúmula y radícula.....	21
3.4 Ensayo de envejecimiento artificial.....	21
3.5 Índice de velocidad de emergencia.....	22
3.6 Peso de materia fresca y seca de plántulas y longitud de plúmula y radícula.....	23
3.7 Diseño experimental y análisis estadístico.....	24

IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
4.1 Germinación estándar.....	25
4.2 Envejecimiento artificial (vigor).....	29
Conclusiones.....	43
Resumen.....	44
Literatura citada.....	45
Apéndice.....	51

INDICE DE CUADROS.

3.1 Descripción de las variedades de algodón analizado.....	16
3.2 Características de algunas de las variedades de algodón... en estudio.....	18
4.1 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de germinación estándar en semilla de algodón convencional y transgénico.....	26
4.2 Medias de las variables evaluadas en el ensayo de germinación estándar en semilla de algodón convencional y transgénico.....	27
4.3 Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para longitud de plántula y radícula y peso fresco en algodón convencional y transgénico.....	28
4.4 Medias para las variables longitud de plántula y radícula, peso fresco y seco en algodón convencional y transgénico.....	29
4.5 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de vigor (24 h).....	31
4.6 Medias de las variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico (24 h).....	31
4.7 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de vigor (48 h).....	33

4.8 Medias de las variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico (48 h).....	33
4.9 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de vigor (72 h).....	35
4.10 Medias de las variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico (72 h).....	35
4.11 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de vigor (96 h).....	36
4.12 Medias de las variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico..(96 h).....	37
4.13 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en invernadero en semillas de algodón convencional y transgénico (10 días)...	38
4.14 Medias de las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en algodón convencional y transgénico en invernadero (10 días).....	39
4.15 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en algodón convencional y transgénico en invernadero.....	40

4.16. Medias de las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en algodón convencional y transgénico.....	42
--	----

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Porcentajes de plántulas normales en el primer y segundo conteo para el ensayo de germinación estándar.....	51
Figura 2. Porcentaje de plántulas normales para el ensayo de vigor con diferentes tiempos de envejecimiento artificial.....	52

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del algodón (*Gossypium hirsutum L.*), es uno de los pocos cultivos de trascendencia mundial, que en los últimos 9 años, los siete mayores productores de algodón han sido: China, Estados Unidos, India, Pakistán, Brasil y Turquía, estos han ofertado consistentemente el 82 % de la producción anual del mundo, pero solo Estados Unidos de América y China, han visto aumentar su producción desde 1991 (Roberson, 1999). En los últimos ciclos India y Pakistán han pasado de ser exportadores netos de 4 millones de pacas a importadores de 4 millones de pacas anualmente, esto debido al gran desarrollo de su industria textil en estos países.

En México actualmente los principales estados productores de fibra de algodón son: Sonora, Tamaulipas, Chihuahua, Baja California Norte y Sinaloa, sin embargo, en regiones como la Comarca Lagunera, es el cultivo más importante desde que se inició la actividad agropecuaria, constituyéndose, en una de las pocas opciones redituables que tiene el productor agrícola.

Además de la producción de fibra, la producción de semilla de algodón es una actividad muy importante y requiere de conocer la calidad fisiológica de la misma ya que permite tomar decisiones económicas y agropecuarias

con respecto al costo, época y densidad de siembra y predicción de la uniformidad de establecimiento de las plantas. Las pruebas de calidad de semilla permiten identificar la pérdida de viabilidad y vigor que pueden ocurrir durante su cosecha, secado, limpieza, envasado, almacenamiento y transporte.

La evaluación de la calidad de la semilla tiene un impacto significativo en mejorar el desempeño de la misma en campo, lo cual culmina en consideraciones económicas importantes tanto para el agricultor como para el productor de semillas.

Actualmente en la Comarca Lagunera se están cultivando variedades de algodón genéticamente modificado y por lo tanto se hace necesario conocer si estas presentan ventajas fisiológicas sobre las variedades convencionales.

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

1. Determinar diferencias en calidad fisiológica entre variedades de algodón convencional y transgénico.
2. Determinar la calidad fisiológica de semilla de algodón convencional (DP 675 y DP 5690) y transgénico (DP 20B, DP 428B, DP 458BR y NuCOTN 35 B) producida en la Comarca Lagunera.

3. Conocer si las variedades transgénicas presentan ventajas fisiológicas sobre las variedades convencionales.

Hipótesis

1. La calidad fisiológica de la semilla de algodón (*Gossypium hirsutum L.*) transgénica se manifiesta superior a la convencional.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Clasificación.

El algodón pertenece a la familia Malvaceae y al género *Gossypium*. Este género comprende numerosas especies silvestres y cultivadas. La mayoría de las variedades cultivadas pertenecen a las especies *G. hirsutum*, *G. barbadense* y *G. herbaceum*, siendo la primera la de mayor producción a nivel mundial (Manuales para educación agropecuaria, 1982).

2.2. Producción mundial.

La producción mundial de algodón estimada para 1998 / 1999 fué de 18.4 millones de toneladas y el área sembrada fué de 32.8 millones de has (Roberson, 1999).

La superficie sembrada de algodón transgénico a nivel mundial fue de 2.5 y 3.7 millones de has para 1998 y 1999, respectivamente (James, 1999).

2.3. Algodón Bollgard y Roundup.

Las variedades transgénicas de algodón son materiales genéticos que han sido generados a través de la ingeniería genética, que se les a introducido genes de resistencia a larvas de lepidópteros, dípteros y coleópteros, así como genes de resistencia a herbicidas como el Basta[®] y el Roundup[®].

Las variedades transgénicas de algodón Bollgard sintetizan una proteína insecticida (toxina Bt) codificada por el gene Cry que se obtuvo de la bacteria *Bacillus thuringensis* (Bt) (Ruiz y Rincón, 1999).

La toxina insecticida esta compuesta de una proteína grande que es inactiva, al ingerir el insecto esta proteína, las condiciones alcalinas del esófago y la presencia de proteasas causa la ruptura del polipéptido no tóxico, liberando la toxina activa. La proteína insecticida activada se une a un receptor específico en el esófago en las membranas de las células insertándose en ellas. Al agruparse y formar complejos, estos forman un poro a través de la membrana, ocasionando goteo del contenido celular, causando la muerte de las células. Los insectos, debido al daño causado dejan de alimentarse y mueren en aproximadamente 24 h de hambre o de infecciones bacterianas secundarias (Llewellyn et al., 1992 citado por Ruiz y Rincón, 1999).

Con relación a la resistencia a herbicidas se ha logrado manipular a través de diferentes mecanismos:

- 1) Sobreexpresión de la proteína “blanco o diana” como es el caso del algodón resistente a glifosato conocido comercialmente como Roundup (Horsch et al., 1987 citado por Ruiz y Rincón, 1999).
- 2) Con la introducción de genes bacterianos de detoxificación (Bar) como en cultivos resistentes al herbicida Basta[®] y bialafos (Ruiz y Rincón, 1999).
- 3) Por modificación del sitio de unión del herbicida, resultando en resistencia a herbicidas como glifosato y sulfonilurea (Ruiz y Rincón, 1999).

Actualmente la tecnología de las variedades de algodón transgénico representa una alternativa para los productores de regiones en donde se presentan plagas de los géneros *Pectynophora*, *Heliothis* y *Helicoverpa*, que año con año causan grandes reducciones en la producción y calidad de semilla y de fibra (Monsanto, 1998).

Evaluaciones de variedades en algodónero transgénico han mostrado mayor rendimiento de algodón en hueso (25%) que las variedades convencionales (Godoy, 1999).

Así mismo, se ha encontrado que para los componentes de rendimiento por medio de semilla (peso de 100 semillas) y peso de capullo (g) las variedades transgénicas mostraron ser mejores (Godoy, 1998).

Considerando que el daño a semilla en variedades transgénicas es menor, se requiere evaluar su efectividad, tomando en cuenta que el manejo de la semilla se sigue con normas internacionales y nacionales. El concepto de calidad de la semilla se basa en cuatro componentes fundamentales: genético, sanitario, físico y fisiológico

Genético: componente, cuyo factor de calidad medible es la pureza varietal, que garantiza la autenticidad del material obtenido, así como la no presencia de mezclas físicas, con semillas de otras variedades o cruzamiento genético.

Sanitario: la condición sanitaria es dada por la ausencia de micoflora patógena (tanto interna como externa), así como de insectos parásitos.

Características físicas: incluye peso y tamaño de las semillas.

Fisiológico: determinado por la emergencia y desarrollo del embrión de la semilla y de las estructuras esenciales como la radícula y el mesocótilo o coléoptilo, que son indicadores de la capacidad de la semilla para producir una plántula normal bajo condiciones favorables (capacidad de germinación) o aún bajo condiciones desfavorables (vigor). Siendo el criterio más aceptado y utilizado en la comercialización de semillas, es la capacidad de germinación (Moreno, 1988).

2.4. Germinación estándar

La germinación de la semilla es el desarrollo de las estructuras esenciales del embrión a un grado tal que manifiesta la habilidad para continuar un desarrollo normal bajo condiciones óptimas. Es decir es la capacidad de las semillas para germinar y producir una plántula normal (ISTA, 1985).

Medina (1977) menciona que la germinación es el comienzo del crecimiento activo del embrión, o sea su paso de su vida latente a la vida activa.

Copeland y McDonald (1985) señalan que la capacidad de germinación es el criterio comúnmente usado para determinar la viabilidad o calidad de la semilla y que es universalmente aceptado que la germinación y la viabilidad de la semilla se consideran términos sinónimos por los semillistas.

Estos mismos autores definen la germinación como la emergencia y desarrollo; a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales que por el

tipo de semilla de que se trate son indicadores de su habilidad para producir una plántula normal bajo condiciones favorables (AOSA, 1983).

Delouche (1986) señala que la calidad fisiológica de la semilla lleva atributos intrínsecos que determinan su capacidad para germinar y emerger rápidamente y producir plantas vigorosas estándares y uniformes bajo las condiciones de campo que se presentan durante la época de cultivo. Esta cualidad esta determinada por factores genéticos, fisiológicos, patológicos y ambientales, siendo como la mayoría de los sistemas de vida, un proceso inexorable.

El sector dedicado a la producción de semillas y agricultores con cierto grado de avance tecnológico, con el desarrollo de las técnicas modernas en los sistemas de producción, al intentar maximizar rendimientos y retornos financieros comenzaron a darle más importancia a la alta calidad de la semilla capaz de una rápida y uniforme emergencia bajo un amplio rango de condiciones ambientales (Perry, 1980). Se requiere entonces de información adicional con relación a calidad de semilla de la que actualmente se ofrece mediante los ensayos de pureza y germinación.

De acuerdo a ISTA (1985) el objetivo de la prueba estándar de germinación es obtener información con respecto a la capacidad de las semillas para producir plántulas normales y hacer comparaciones del poder germinativo entre diferentes lotes de semillas de la misma especie.

De acuerdo a Sayers (1982), la prueba de germinación fue diseñada para medir el máximo potencial de viabilidad de las semillas, y señala que se han establecido criterios para evaluar las plántulas al final de un período específico para determinar si poseen las estructuras necesarias para producir plantas normales, de aquí que la prueba requiere de las condiciones óptimas para obtener todo el potencial de germinación.

La AOSA (1983) hace notar que la prueba de germinación intenta evaluar que tan variable es la semilla que se prueba y la define como “ la emergencia y desarrollo a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales para desarrollar una plántula normal”. A la germinación generalmente se le asocia con una serie de factores que de una u otra manera influye en el resultado una de las más restrictivas es el vigor de la semilla.

McDonald (1982) reporta diferencias significativas atribuibles al tamaño de semilla en las pruebas del primer conteo de germinación, prueba fría, envejecimiento acelerado y emergencia de campo, explica como las semillas pequeñas se inhiben más rápidamente por lo que se inician más pronto los procesos de germinación, aquí surge un detalle, estudiar si este comportamiento no es afectado por el consumo más rápido de las pocas reservas que poseen estas semillas.

Fakorade y Ojo (1981) realizaron trabajos de mediciones de vigor en laboratorio y a través de envejecimiento acelerado y germinación, en campo por emergencia e índice de vigor, reportando que la mayoría de estas

características están más influenciadas por el ambiente que por la composición o estructura genética.

2.5. Vigor

El concepto de vigor se ha estado estudiando aproximadamente un siglo (Nobbe, 1896), desde entonces se le ha tratado de definir, pero han surgido varias interpretaciones, una de ellas, es definida por la AOSA (1983) un tanto restringida en su uso. Esta indica que el vigor de la semillas es la suma de aquellas propiedades que determinan que las plántulas emerjan de manera uniforme y rápida, con un buen desarrollo en un amplio rango de condiciones de campo.

Sin embargo, la más ampliamente definición reconocida a nivel internacional es la propuesta por la Asociación Internacional para el Ensayo de Semillas (ISTA, 1985) y la define como “la suma de aquellas propiedades que determinan el nivel potencial de actividad y comportamiento de una semilla o lote de semilla durante la germinación y emergencia de la plántula”. Las semillas que se establezcan mejor serán llamadas “semillas de alto vigor” las que se comporten de manera deficiente serán llamadas “de bajo vigor” (Perry , 1981).

Miranda (1984) menciona que el vigor es considerado desde que la semilla alcanza su madurez fisiológica en la planta y es el punto donde convergen el máximo peso seco, viabilidad y el más alto vigor de la semilla, y a partir

de la cual como lo manifestó Mc Donald (1975 y 1977) la pérdida de vigor precede a la pérdida de germinación y viabilidad.

Desde que se identificaron factores genéticos, ambientales e intrínsecos de la semilla que interactuaban al afectar el comportamiento final de la misma, durante la siembra, el concepto de vigor ha sido introducido para integrar éste, como un atributo más, que va mas allá de la simple viabilidad de la semilla (Johnson y Wax, 1978).

La ISTA 1981, menciona que Nobbe (1876) reconoció que las propiedades de cada semilla, tales como la velocidad de germinación y crecimiento de plántulas, varían dentro de cada lote de semilla, así como entre lotes diferentes. A este fenómeno se le dió el nombre de “triebkraft” (fuerza conductora o de empuje) y se le asignaron varios nombres como emergencia de germinación y vitalidad, no obstante, el termino que ha predominado en los últimos años ha sido el de “vigor de la semilla”.

Independientemente de que dentro de la certificación de semilla, aún no se encuentra nombrado el vigor de la semilla es un concepto muy apreciado por los investigadores y se demanda su inclusión como un criterio más de calidad en el comercio de las semillas, debido a su importancia en el contexto del comportamiento en el campo. No obstante en particular este termino es aún complejo y por lo mismo poco utilizado, sin embargo, investigadores y asociaciones que trabajan al respecto han sugerido una serie de pruebas de carácter físico, fisiológico y bioquímico que permiten evaluar el vigor de la semilla.

2.5.1. Evaluación del vigor

La calificación del vigor de las semillas ha sido por mucho tiempo tema de interés entre los productores y usuarios de las semillas agrícolas, debido a que aun cuando la calidad de las mismas esta determinada principalmente por la germinación y el establecimiento de plántulas en el campo, estas dependen en gran medida del vigor.

De ahí el interés para evaluar este parámetro de calidad mediante pruebas cuyos resultados estén altamente correlacionados con el comportamiento de las semillas en campo.

Perry (1987) señala que el objetivo de una prueba de vigor es para identificar lotes de semillas que tengan capacidad de una rápida y uniforme emergencia de plántulas en el campo y una habilidad de emergencia en condiciones ambientales no favorables. Así mismo, proporcionar al agricultor una estimación del valor de la semilla para siembra y una garantía imparcial de la calidad en las transacciones comerciales.

El propósito de la mayoría de las pruebas de laboratorio es evaluar la calidad de la semilla para la siembra adecuada en el campo. Tomer y Maguire (1990) indican que en el pasado la germinación, la pureza y la sanidad se consideraban los principales criterios de calidad de la semilla, pero ahora el vigor se considera como una característica importante en el establecimiento de los cultivos en el campo.

Las pruebas de vigor se han utilizado para obtener información adicional sobre calidad de las semillas. Algunas son muy específicas y para regiones climáticas muy diferentes a las de los países subtropicales y tropicales, por lo que para su uso hay que considerar los problemas a los que se enfrentan las semillas que nos interesan.

2.5.2. Prueba de Envejecimiento Artificial

Esta prueba fue desarrollada en la Universidad Estatal de Mississippi, como una prueba de calidad de semillas, el envejecimiento artificial permite predecir el potencial de almacenamiento de algunas semillas y la emergencia en el campo (Delouche y Baskin, 1976) y a su vez supera los problemas de sensibilidad de la prueba de germinación y de vigor (Ellis y Roberts, 1980).

Dentro de las pruebas, la de envejecimiento artificial se encuentra ubicada en segundo lugar, después de la prueba fría (McDonald, 1977) y como una de las de mayor aceptación de acuerdo a Tekrony (1982) que en estudio realizado en los laboratorios de la AOSA y la Sociedad Comercial de Tecnólogos de Semillas en los Estados Unidos (SCST) encontró que el 61 por ciento de 102 laboratorios, efectuaban pruebas de vigor de semillas, conduciéndose la prueba de envejecimiento artificial en un 66 por ciento de los mismos. Además, en forma general produce información consistente y de manera uniforme (Goff, 1971).

Su aceptación, en parte se debe a los resultados en tres principales aspectos (McDonald, 1975 y 1977).

1. La prueba es simple y de bajo costo. Su conducción no requiere equipo adicional, a la cámara de envejecimiento acelerado y la interpretación de resultados se basa sobre la ya familiar prueba de germinación, por lo cual no demanda entrenamiento especial.
2. La prueba es rápida, requiere adicionalmente sólo pocos días, comparada con la prueba de germinación estándar.
3. La prueba es aplicable a la mayoría de cultivos de semilla, siendo capaz de evaluar semillas individuales susceptibles a envejecimiento, dependiendo de la sensibilidad al mismo, de la semilla por evaluar.

2.5.3. Factores que afectan el vigor.

La semilla alcanza su madurez fisiológica en la planta, considerándose el punto donde convergen el máximo peso seco, viabilidad y vigor de la semilla los cuales pueden o no ser altos, dependiendo de las condiciones prevalecientes durante el desarrollo de la planta y maduración de la semilla (Miranda, 1984).

Desde el momento de su madurez hasta la siembra, la semilla se encuentra ya sea en la planta madre antes de la cosecha, en el almacén o en el transporte. Durante el transcurso de estas fases la semilla puede verse afectada y deteriorarse disminuyendo así su vigor (Feistritzer, 1975).

A pesar de las diferencias de opinión concernientes a los factores que afectan el vigor de la semilla, la noción de variación en el comportamiento y actividad de la semilla que germinan esta presente en todos ellos.

Queda claro entonces, que el vigor es un concepto múltiple y no una única propiedad cuantificable, no obstante Perry (1976) menciona que varias causas que afectan el vigor se han establecido y agrupado naturalmente en dos grupos:

1. Variaciones intrínsecas debidas al genotipo.
2. Variaciones inducidas por las condiciones externas del medio ambiente que interactúan sobre el genotipo.

Por su parte Heydecker (1969) resume esa causa de falta o pérdida de vigor en: genética, fisiológica, patológica y mecánica que en forma distinta actúan en conjunto, para determinar el vigor de la semilla y consecuentemente el comportamiento de plántulas.

III. MATERIALES Y METODOS

Laboratorio

El presente trabajo de investigación se realizó en el de Ensayos de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas y en el área de invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

3.1. Material experimental

Para la realización del trabajo fueron analizadas semillas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.), de variedades convencionales y transgénicas (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Descripción de las variedades de algodón analizado.

Tratamiento	Método de mejoramiento	Producto comercial
1	Transgénico	DP 20B
2	Transgénico	DP 428B
3	Transgénico	DP 458BR
4	Transgénico	NuCOTN 35B
5	Convencional	DP 675
6	Convencional	DP 5690

La semilla bajo estudio se obtuvo de un lote donde se evaluó el rendimiento y la característica de calidad de fibra que se sembró bajo condiciones de riego en el ciclo agrícola PV 2000, en el CELALA del INIFAP ubicado en Matamoros, Coahuila.

El experimento de donde se obtuvo la semilla se estableció en un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones y la semilla se sembró en surco sencillo a una distancia de 80 cm entre hileras. La parcela experimental consistió de 4 surcos de 10 m de largo, mientras que la parcela útil consistió de 2 surcos de 6 m.

Se efectuaron 3 riegos a los 57, 80 y 103 días después de la siembra, se fertilizó con la fórmula 150 – 50 – 00, así mismo se efectuaron 2 aplicaciones de insecticida; para mosquita blanca se aplicó Rescate a razón de 200 g ha⁻¹ y para conchuela Tiodan a 1.5 l ha⁻¹.

Cuadro 3.2. Características de algunas de las variedades de algodón en estudio.

Variedad	Madurez	Altura Planta (cm)	Semilla por libra	Resistencia a Temporal	Micronaire	Resistencia de la fibra	Resistencia a fusarium	Resistencia a verticillium	Numero Bellotas por rama
DP 20B	Temprano	36.6	4300–5200	Muy buena	4.3	27.9	Muy buena	Buena	16.2
DP 428B	Temprano	36.9	4300–4600	Buena	4.1	28.2	Muy buena	Muy buena	15.3
DP 458B	Muy tardío	35.9	5200–5600	Excelente	4.2	29.8	Muy buena	Muy buena	15.5
NuCOTN 35B	Tardío	37.7	4500–5200	Muy buena	4.3	29.9	Muy buena	Muy buena	17.0
DP 5690	Muy tardío	41.2	4200–5000	Muy buena	4.4	30.9	Muy buena	Muy buena	17.8

Nota: La variedad convencional DP 5690 progenitora de la variedad transgénica NuCOTN 35B.

Deltapine Seed Research and Agronomic Services, 1998. Servicios de investigación de Deltapine, 1998.

Para lograr el objetivo planteado se utilizaron varias pruebas de laboratorio e invernadero bajo la metodología que se describe a continuación.

3.2. Ensayo de germinación estándar.

Para determinar la capacidad de germinación se realizó la prueba de germinación estándar de acuerdo a lo recomendado por ISTA (1987,1996). Para ello se evaluaron 8 repeticiones de 50 semillas (400 semillas previamente desbarradas y tratadas) por variedad, las cuales fueron sembradas entre toallas de papel Anchor húmedo como sustrato, que se enrollaron en forma de taco o muñeca y sujetos con ligas en los extremos. Los tacos o muñecas fueron después colocados dentro de bolsas de polietileno, a las cuales se les hizo un corte diagonal con una navaja de un filo.

Posteriormente las bolsas se colocaron en una cámara de germinación (Germ – Tork) de alta capacidad a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con 8 horas de luz y 16 horas de obscuridad. Las condiciones de humedad y temperatura fueron las mismas durante todo el período de la prueba. Al cuarto día de la siembra se realizó el primer conteo, en el cual se cuantificaron las plántulas normales (PN), eliminándolas de la prueba. Al octavo día se realizó el conteo final de germinación, donde se anotaron plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), semillas muertas (SM), semillas frescas (SF) y semilla con hongos (SH).

Como germinación se consideró la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales (plúmula y radícula) que provienen del embrión y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables de acuerdo a su desarrollo, se clasificaron como:

Plántulas normales: se consideraron aquellas que poseen las estructuras esenciales, sistema radicular e hipocótilo bien desarrollados, e intactos con los dos cotiledones.

Plántulas anormales: las plántulas que mostraron alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales, lo que les impidió un desarrollo normal en condiciones favorables, plantas dañadas, sin cotiledones, con fisuras, sin raíz primaria, plántulas deformes, con un desarrollo débil, plántulas con estructuras esenciales deterioradas por hongos y bacterias.

Semillas frescas: semillas viables (diferentes de las semillas duras) que no germinaron aún bajo condiciones específicas para la especie.

Semillas muertas: aquellas que no germinaron y que no se les clasificó como frescas.

El porcentaje de cada una de las variables evaluadas, se obtuvo del promedio de cada una de las repeticiones.

3.3. Peso fresco y seco de plántula y longitud de plúmula y radícula.

Para determinar la longitud de plúmula (LP), longitud de radícula (LR), peso fresco (PF) y peso seco (PS) se realizó una prueba de germinación estándar bajo la metodología descrita anteriormente.

Se establecieron 4 repeticiones de 25 semillas por variedad, realizándose la evaluación 8 días después de la siembra.

De las cuales se seleccionaron diez plántulas normales vigorosas y se midió LP y LR, posteriormente se colocaron en un sobre de papel manila para obtener el PF.

Posteriormente, los sobres con las plántulas se colocaron en un horno de laboratorio de GCA a $70^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ por 24 h, para alcanzar peso constante. Finalizando el secado, se pesaron para obtener PS en una balanza OHAUS Portable Advanced.

3.4. Ensayo de envejecimiento artificial

Esta prueba se efectuó de acuerdo a la metodología propuesta por AOSA (1983) donde la semilla se sometió a temperaturas de $42^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ por 24, 48, 72 y 96 h para envejecimiento artificial, con una humedad relativa mayor de 90 por ciento, condiciones que se mantuvieron en una cámara de envejecimiento. Como cámara interna se utilizaron vasos de precipitado graduados de 250 ml a los que se les agregó 50 ml de agua destilada, en el

interior una malla metálica y una base de igual material como soporte, donde se colocaron las semillas de algodón transgénico y convencional y cada semilla se distribuyó uniformemente. Después se cubrieron los vasos con papel plástico de polietileno, el cual se selló con ligas. Estos se colocaron en la cámara de envejecimiento (ENVEJE VWR SCIENTIFIC) por los periodos en estudio. Posteriormente las semillas fueron sometidas a pruebas de germinación estándar.

Para cada tiempo de envejecimiento se realizó la prueba de germinación estándar bajo la metodología descrita anteriormente, 8 repeticiones de 50 semillas por variedad, realizándose solamente un conteo a los ocho días de sembrado para las seis variedades en estudio.

En este ensayo se evaluaron las plántulas normales las que se reportaron como porcentaje de germinación (PN) después de envejecimiento y se anotaron además las plántulas anormales (PA), semillas muerta (SM), semillas frescas (SF).

Invernadero

3.5. Índice de Velocidad de emergencia.

La siembra se realizó en una cama en invernadero de 1.0 m de ancho x 9 de largo con condiciones de temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2$ día y $18^{\circ}\text{C} \pm 2$ noche y con riego aplicado cada 8 días. Como sustrato se uso tierra negra mezclada con sustrato Promix para germinación. Se sembraron 4 repeticiones de 50

semillas por cada tratamiento (variedad) a una profundidad de 4–5 cm. Se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas, considerándose a partir de la aparición en la superficie de los cotiledones.

El resultado se expresó en índice de velocidad de emergencia (IVE), el cual se calculó de las plántulas emergidas empleando la fórmula de Maguire (1961).

$$IVE = \sum_{i=1}^n = \frac{\text{No. de plántulas normales al conteo } i\text{-ésimo}}{\text{No. de días de la siembra al conteo } i\text{-ésimo}}$$

3.6. Peso fresco y seco de plántulas y longitud de plúmula y radícula.

De la siembra anterior, diez plántulas normales con sus respectivas raíces fueron retiradas diez días después de la siembra en invernadero, con la ayuda de una espátula. A cinco de estas plántulas se les determinó longitud de plúmula (LP) y longitud de radícula (LR). Posteriormente las diez plántulas se pesaron en una balanza analítica de precisión (OHAUS, Analytical Plus), para obtener peso fresco (PF). Se colocaron en un sobre de papel manila y se sometieron a secado en un horno de laboratorio de precisión GCA a 70° C ± 2 por 24 h, hasta alcanzar un peso constante. Finalizado el secado, se enfriaron en un desecador y se pesaron en una balanza analítica de precisión (OHAUS, Precision Standard) con lo cual se obtuvo el peso seco de diez plántulas (PS), la media nos dió el PS de plántulas. A los 20 días se realizó el mismo el mismo procedimiento para obtener las mismas variables de evaluación.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

En las diferentes pruebas se utilizó un diseño completamente al azar cuyo modelo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

En donde: Y_{ij} = Es el efecto o variable de respuesta para el i -ésimo tratamiento.

μ = media general de todas las unidades experimentales.

t_i = efecto del i –ésimo tratamiento (variedad).

ε_{ij} = error experimental variable aleatoria a la que se asume distribución normal e independencia con media 0 y varianza constante.

Así mismo, se realizó una extensión del análisis de varianza en donde se subdividieron las sumas de cuadrados de los tratamientos para comparar las variedades transgénicas con respecto a las convencionales.

Prueba de rango múltiple: Se realizó la comparación de medias para las diferentes variables de respuesta en estudio a través de la prueba de rango múltiple de Tukey, realizada a un nivel de significancia de 0.05.

Los análisis se realizaron utilizando los procedimientos PROC ANOVA Y PROC GLM de SAS (SAS, 1990; SAS, 1992).

IV. RESULTADOS

4.1 Germinación estándar.

Los cuadrados medios para las variables primer conteo (PN), germinación de plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), semillas muertas (SM) y semillas frescas (SF), se presentan en el Cuadro 4.1. Al primer conteo se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para la variable PN en la fuente de variación tratamiento y para la comparación de los tratamientos (T4 NuCOTN 35B) y T6 (DP 5690), así como para la comparación entre el grupo de variedades convencionales y el grupo de variedades transgénicas

La evaluación de PN en el primer conteo es un indicador del vigor de la semilla, por lo que se determinó que existen diferencias entre variedades convencionales y transgénicas.

Para la variable PN al 2º conteo igualmente se encontraron diferencias altamente significativas, así como para la comparación que se llevó a cabo entre convencionales y transgénicos y para la comparación del tratamiento T4 (NuCOTN 35B) y T6 (DP 5690).

Para la variable PA entre tratamientos se encontró diferencia altamente significativa así como para las comparaciones que se hicieron entre el T4 (NuCOTN 35B) con el T6 (DP 5690) y entre transgénicos y convencionales.

Para la variable SM se encontraron diferencias altamente significativas para la fuente de variación tratamiento y para la comparación del tratamiento T4 (NuCOTN 35B) y T6 (DP 5690) y significativa para la comparación entre el grupo de las variedades convencionales y las variedades transgénica.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de germinación estándar en semillas de algodón convencional y transgénico.

FV	GL	1°		2°		
		PN %	PN %	PA %	SM %	SF %
TRATAMIENTO	5	1987.883**	1322.350**	6.849**	3.490**	6.702*
ERROR	42	24.535	25.321	0.553	0.404	0.448
CV		10.221	5.981	28.279	32.861	34.822
T4 VS T6 †	1	7482.250**	5256.250**	26.999**	15.755**	27.179**
T VS CON ††	1	2882.041**	2838.375**	15.599**	2.138*	18.299**

*, ** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 respectivamente.

† Contraste entre tratamiento 4 y tratamiento 6.

†† Contraste entre variedades convencionales y variedades transgénicas.

PN = Germinación para plántulas normales; PA = Plántulas anormales;

SM = Semillas muertas; SF = Semillas frescas.

Para la variable SF se encontró diferencia significativa para tratamiento y altamente significativa para la comparación del tratamiento (T4 NuCOTN 35B) y el T6 (DP 5690). De acuerdo a los resultados anteriores se determina que existen diferencias a nivel fisiológico entre variedades convencionales y transgénicas. Lo cual se puede constatar con la comparación de medias para tratamientos que se presentan en el Cuadro 4.2

Cuadro 4.2. Medias de las variables evaluadas en el ensayo de germinación estándar en semilla de algodón convencional y transgénico.

Tratamiento	1°		2°			
	PN %		PN %	PA %	SM %	SF %
1	62	b	87	5	5	3
2	41	c	88	4	4	3
3	41	c	87	6	4	2
4	72	a	95	3	1	1
5	46	c	88	6	3	3
6	29	d	59	20	8	13
Tukey	7.39		7.51	5.84	4.39	4.09

† Tukey al 5 %, los tratamientos agrupados con la misma letra son estadísticamente iguales.

PN = Germinación para plántulas normales; PA = plántulas anormales;

SM = Semillas muertas; SF = Semillas frescas.

Dentro del grupo de las variedades transgénicas se encontró que la variedad NuCOTN 35B (T4) presentó un mejor comportamiento en cuanto a las variables PN 1er conteo y PN 2do conteo, con 72 % y 95 % respectivamente, lo cual indica su superioridad en cuanto a vigor y variabilidad de las semillas.

Para las variables PA y SM de los tratamientos del 1-5, son estadísticamente iguales e inferiores al T6 (DP 5690) que fue superior a ellos.

Cuadrados medios para las variables LP, LR, PF, PS y CA, se presentan en el Cuadro 4.3. Para la fuente de variación tratamiento se encontró diferencias altamente significativas únicamente para la variable LR. Así mismo se encontraron diferencias estadísticas significativas para el T4 y T6 y significativa para la comparación de las variedades transgénicas con convencionales.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza para longitud de plántula y radícula y peso fresco en algodón convencional y transgénico.

FV	GL	LP cm	LR cm	PF g	CA g
TRATAMIENTO	5	1.68NS	10.83**	3.46NS	3.46NS
ERROR	18	0.78	2.42	1.96	1.96
CV		7.71	15.89	20.10	23.46
T4 VS T6 †	1	1.56NS	12.67*	1.25NS	1.12NS
T VS CON ††	1	1.07NS	20.86**	2.52NS	2.52NS

*,** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente.

† Contraste entre tratamiento 4 y tratamiento 6.

†† Contraste entre variedades convencionales y variedades transgénicas.

LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; PF = Peso fresco; CA = Contenido de agua.

De acuerdo a los datos observados en el Cuadro 4.4 para las mismas variables de evaluación, se puede observar, única y exclusivamente diferencias estadísticas para la variable LR mostrando el T1 (DP 20B) la mayor longitud. Para el resto de las variables no hubo diferencias significativas.

Cuadro 4.4. Medias para las variables longitud de plántula y radícula, peso fresco y seco en algodón convencional y transgénico.

Tratamiento	LP cm	LR cm	PF g	PS g	CA g
1	12.60 a	12.32 a	7.25 a	1.00 a	6.25 a
2	11.41 a	10.67 ab	6.25 a	1.00 a	5.25 a
3	11.00 a	8.73 b	5.50 a	1.00 a	4.50 a
4	11.61 a	10.07 ab	8.00 a	1.00 a	7.00 a
5	11.68 a	9.39 ab	7.62 a	1.00 a	6.62 a
6	10.72 a	7.55 b	7.25 a	1.00 a	6.25 a
Tukey	1.99	3.49	3.15	0	3.15

† Tukey al 5%, los tratamientos agrupados con la misma letra son estadísticamente iguales
 LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; PF = Peso fresco; PS = Peso seco
 CA = Contenido de agua.

4.2. Envejecimiento artificial

De acuerdo al análisis estadístico (Cuadro 4.5), se puede observar que de acuerdo a la significancia de los cuadrados medios, las respuestas para todas las variables para la fuente de variación tratamiento, mostraron diferencias altamente significativas. La comparación de la variedad NuCOTN 35B (T4) con respecto a su fuente de origen PD 5690 (T6), y la comparación del grupo de los transgénicos contra los convencionales mostraron también diferencias altamente significativas.

En el Cuadro 4.6 tenemos las medias de respuesta obtenidas en el ensayo de vigor EA con 24 h para la variable PNEA. Estadísticamente el T4 (NuCOTN 35B) resultó superior al resto de los tratamientos, aunque numéricamente este supero por 12 unidades al T1(DP 20B), el T6 (DP 5690) presentó el peor comportamiento con 37 % de plántulas normales.

Para la variable PAEA en el T4 (NuCOTN) 35B obtuvo un comportamiento superior ya que únicamente se observó 6% de plántulas de este tipo (Cuadro 4.6).

Para la variable SMEA se obtuvo un comportamiento estadísticamente similar para los tratamientos 1 al 5, con valores que van del 2 al 5 %. Mientras que para el T6 se observó un promedio de 11 % de semilla muerta (Cuadro 4.6).

Para la variable SFEA como lo marca el ANVA se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 4.6).

La variable SF presentó mayor porcentaje en T6 (DP 5690) con 19% mientras que T4 (NuCOTN 35B) presentó el menor con 2 %. Al igual que en el ensayo de germinación estándar, el ensayo de vigor indica que la variedad NuCOTN 35B (T4) es superior en cuanto a su respuesta al estrés impuesto (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.5. Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de vigor (24 h).

FV	GL	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
TRATAMIENTO	5	2525.53**	10.98**	3.83**	7.83**
ERROR	42	21.88	0.20	0.55	0.44
CV		6.94	10.25	34.62	25.37
T4 VS T6 †	1	11025.00**	40.18**	17.44**	32.24**
T VS CON ††	1	3504.16**	8.49**	5.61**	12.95**

*,** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 respectivamente.

† Contraste entre tratamiento 4 y tratamiento 6.

†† Contraste entre variedades convencionales y variedades transgénicas.

PNEA = Germinación para plántulas normales en envejecimiento artificial; PAEA = plántulas anormales envejecimiento artificial; SMEA = Semillas muertas en envejecimiento artificial; SFEA = Semillas frescas. en envejecimiento artificial.

Cuadro 4.6. Medias de las variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico (24 h).

Tratamiento	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
1	77 b	13 c	5 b	5 bc
2	65 c	22 b	4 b	8 b
3	62 c	29 a	4 b	5 bc
4	89 a	6 d	2 b	2 c
5	73 b	18 bc	3 b	5 bc
6	37 d	32 a	11 a	19 a
Tukey	6.98	5.32	5.15	4.70

† Tukey al 5%, los tratamientos agrupados con la misma letra son estadísticamente iguales.

PNEA = Germinación para plántulas normales en envejecimiento artificial

PAEA = Plántulas anormales envejecimiento artificial; SMEA = Semillas muertas en envejecimiento artificial SFEA = Semillas frescas en envejecimiento artificial.

Los cuadrados medios para el ensayo de envejecimiento artificial con 48 horas, se presenta en el Cuadro 4.7, se observó diferencias altamente

significativas para la fuente de variación tratamiento para las variables PNEA, PAEA, SMEA y SFEA.

Con relación a la comparación entre T4 (NuCOTN 35B) y T6 (DP 5690) se identificaron diferencias estadísticas altamente significativas para las variables PNEA, PAEA, SMEA y SFEA, sin embargo al comparar al grupo de variedades transgénicas con el de las convencionales, se encontraron diferencias altamente significativas únicamente para PNEA, SMEA y SFEA.

Las medias de respuesta obtenidas en el ensayo de vigor con 48 horas de envejecimiento artificial se presenta en el Cuadro 4.8. Se observó para la variable PNEA en el T4 (NuCOTN 35B) la mejor respuesta con un 91 % de plántulas normales. Los tratamientos 1, 2, 3 y 5 resultaron estadísticamente iguales. El T6(DP 5690) presentó el peor comportamiento con 28%.

De igual manera el T4 (NuCOTN 35B) presentó un comportamiento superior para las variables PAEA, SMEA y SFEA con 4, 4 y 1% respectivamente. El T6 (DP 5690) presentó los porcentajes más altos para PAEA, SMEA y SFEA con 18, 30 y 23, respectivamente.

Cuadro 4.7. Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de vigor (48 h).

FV	GL	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
TRATAMIENTO	5	15.10**	6.73**	12.02**	11.77**
ERROR	42	0.21	0.45	0.52	0.51
CV		5.93	18.17	20.56	23.79
T4 VS T6	1	72.33**	22.09**	53.66**	53.03**
T VS CON ††		27.29**	1.85 NS	15.61**	30.49**

*,** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 respectivamente.

Cuadro 4.8. Medias de las variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico (48 h).

Tratamiento	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
1	59 b	15 a	17 b	8 b
2	63 b	14 a	11 bc	12 b
3	63 b	20 a	9 bc	6 bc
4	91 a	4 b	4 c	1 c
5	65 b	14 a	9 c	12 b
6	28 c	18 a	31 a	23 a
Tukey	10.53	7.66	7.32	6.39

† Tukey al 5%, los tratamientos agrupados con la misma letra son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 4.9 se tiene la respuesta estadística de las variables del ensayo de vigor 72 h, en este podemos observar que hubo respuesta altamente significativa en todas las variables de evaluación excepto para PAEA en la comparación de variedades convencionales con transgénicas.

Las medias de respuesta para las variables evaluadas en el ensayo de vigor a 72 h se tienen en el Cuadro 4.10. La variedad NuCOTN 35B denotó la mejor calidad en todas las variables, superando ampliamente a el resto de las variedades, mostrando el más alto nivel de PNEA 92% y el menor nivel para PAEA, SMEA, SFEA con 4, 2, y 1 respectivamente.

La más baja respuesta se obtuvo en la variedad DP 5690 (T6) mostrando el más bajo PNEA (28 %)y el más alto nivel en PAEA, SMEA, SFEA con 15, 37 y 20 respectivamente

En el Cuadro 4.11 se tienen las respuestas estadísticas obtenidas de las variables del ensayo de vigor a 96 h en este se observan diferencias altamente significativas para la fuente de variación tratamiento.

En la comparación entre la variedad NuCOTN 35B (T4) y DP 5690(T6), se encontraron diferencias altamente significativas para PNEA, SMEA, SFEA. Con respecto en la comparación entre los dos grupos de variedades solamente hubo diferencias altamente significativas en PNEA y SFEA.

Cuadro 4.9 Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas el ensayo de vigor (72 h).

FV	GL	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
TRATAMIENTO	5	3334.9**	2.79**	18.67**	8.24**
ERROR	42	74.59	0.59	0.64	0.79
CV		14.41	23.68	19.45	29.84
T4 VS T6	1	16129.0**	10.99**	86.24**	38.08**
T VS CON	1	4004.16**	1.07 NS	23.19**	8.20**

*,** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01 respectivamente.

Cuadro 4.10. Medias de variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico (72 h).

Tratamiento	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
1	56 b	11 ab	22 b	11 bc
2	55 b	12 ab	21 b	12 ab
3	62 b	14 a	16 b	8 bc
4	92 a	4 b	2 c	1 c
5	65 b	10 ab	18 b	7. bc
6	28 c	15 a	37 a	20 a
Tukey	12.89	7.73	10.30	9.97

† Tukey al 5%, los tratamientos agrupados con la misma letra son estadísticamente iguales.

Cuadro 4.11. Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de vigor (96 h).

FV	GL	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
TRATAMIENTO	5	19.633**	6.188**	11.939**	26.946**
ERROR	42	0.350	0.830	0.985	0.566
CV		8.90	25.60	30.24	14.966
T4 VS T6†	1	87.32**	0.73NS	42.947**	122.87**
T VS CON††	1	18.61**	1.99NS	3.83NS	31.85**

*,**= Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente..

En el Cuadro 4.12 se tienen las medias de las variables de evaluación para ensayo de vigor 96 h, la variedad NuCOTN 35B mostró el más alto nivel de PNEA con 88% y mostró los más bajos niveles en SMEA y SFEA, la más baja respuesta la mostró el T6 (DP 5690) en cuanto a PNEA y el más alto nivel en SMEA y SFEA, el resto de los tratamientos mostraron similar respuesta.

Cuadro 4.12. Medias de variables evaluadas en el ensayo de vigor en semilla de algodón convencional y transgénico (96h).

Tratamientos	PNEA %	PAEA %	SMEA %	SFEA %
1	34 c	18 ab	13 a	35 b
2	48 b	11 abc	12 ab	29 bc
3	38 bc	21 a	18 a	23 c
4	88 a	8 bc	1 b	3 d
5	46 b	18 ab	10 ab	26 bc
6	22 d	6 c	19 a	52 a
Tukey	11.5	9.9	11.6	11.8

† Tukey al 5 %, los tratamientos agrupados con la misma letra son estadísticamente iguales.

Los cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia diez días después de la siembra se presentan en el Cuadro 4.13 La fuente de variación tratamiento presentó diferencias significativas únicamente para las variables LP y PS. La comparación del transgénico NuCOTN 35B con su progenitor DP 5690 no mostró diferencias estadísticas para todas las variables evaluadas, al igual que la comparación del grupo de las variedades transgénicas con el de los convencionales.

Cuadro 4.13. Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en invernadero en semilla de algodón convencional y transgénico (10 días).

FV	GL	LP cm	LR cm	PF g	PS g	CA g
TRATAMIENTO	5	0.62 *	1.03NS	0.48NS	0.007*	0.47NS
ERROR	18	0.16	0.70	0.20	0.002	0.19
CV		6.91	15.97	9.88	7.48	11.13
T4 VS T6 †	1	0.49NS	0.50NS	0.001NS	0.007NS	0.01NS
T VS CON ††	1	0.62NS	0.20NS	0.75NS	0.0001NS	0.77NS

*,** = Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente.

† Contraste entre tratamiento 4 y tratamiento 6.

†† Contraste entre variedades convencionales y variedades transgénicas.

LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; PF = Peso fresco; PS = Peso seco
CA = Contenido de agua.

La comparación de medias para las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en invernadero diez días después de la siembra se presenta en el Cuadro 4.14. A pesar de que el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas para tratamientos para las variables PF y CA, la prueba de Tukey muestra que el T5 presentó el mayor PF con 4.97 g y el T3 el menor valor y estadísticamente diferente con 3.95 g, lo cual coincide con los promedios obtenidos para la variable CA, en donde el contenido al agua fue superior y estadísticamente diferente para el tratamiento 5. Por otra parte, para la variable PS el T4 mostró un valor superior (0.66 g) y estadísticamente diferente del resto de los tratamientos.

Cuadro 4.14. Medias de variables evaluadas en ensayo de índice de velocidad de emergencia en algodón convencional y transgénico en invernadero (10 días).

Tratamiento	LP cm	LR cm	PF g	PS g	CA g
1	50.53 a	4.59 a	4.39 ab	0.59 ab	3.79 ab
2	5.46 a	5.24 a	4.73 ab	0.55 b	4.17 ab
3	5.70 a	5.48 a	3.95 b	0.55 b	3.39 b
4	6.36 a	5.98 a	4.59 ab	0.66 a	3.92 ab
5	6.34 a	4.77 a	4.97 a	0.57 ab	4.39 a
6	5.86 a	5.48 a	4.61 ab	0.60 ab	4.01 ab
Tukey	0.091	1.88	1.00	0.09	0.98

† Tukey al 5%, los tratamientos agrupados con la misma letra son estadísticamente iguales.

LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; PF = Peso fresco; PS = Peso seco
CA = Contenido de agua.

Los resultados anteriores muestran que aunque no se presentaron diferencias estadísticas para algunas de las variables evaluadas en este ensayo, se observan diferencias numéricas que reflejan respuestas fisiológicas diferentes entre variedades.

Los cuadrados medios y niveles de significancia para las variables LP, LR, PF, PS y CA evaluadas en el ensayo de velocidad de emergencia se presentan en el Cuadro 4.15. Únicamente para las variables PF, PS y CA se presentó diferencia estadística. La fuente de variación tratamiento presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) para la variable IVE. Asimismo la comparación de T4 y T6, presentan diferencia altamente significativa, así como la comparación entre el grupo de las variedades transgénicas y el de las convencionales presenta también diferencias estadísticas altas ($P \leq 0.01$).

Las variables LP, PF, PS y CA presentan diferencias estadísticas altamente significativas para la comparación entre T4 y T6.

Al comparar el grupo de las variedades transgénicas con el de las convencionales se encontró diferencias altamente significativas para las variables IVE, PF, PS y CA.

Los resultados muestran que al comparar las variedades transgénicas con las convencionales se detectan diferencias que indican un comportamiento desigual durante el desarrollo de la planta, en cuanto a acumulación de materia seca y contenido de agua.

Cuadro 4.15. Cuadrados medios y significancia obtenidos de los análisis de varianza para las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en algodón convencional y transgénico en invernadero.

FV	GL	IVE cm	LP§ cm	LR§ g	PF § g	PS§ g	CA§
TARATAMIENTO	5	15.13**	2.44NS	0.16NS	2.94*	0.10*	2.00*
ERROR	18	2.64	1.20	0.98	0.78	0.02	0.53
CV		21.58	9.39	14.64	13.84	16.66	13.58
T4 VS T6	1	62.53**	8.44**	0.30NS	8.72**	0.25**	6.00**
T VS CON	1	57.41**	3.72NS	0.02NS	8.13**	0.24**	5055**

*,** =Niveles de significancia al 0.05 y 0.01, respectivamente..

§ Evaluados 20 días después de la siembra.

IVE = Índice de velocidad de emergencia evaluado diariamente.

Las medias de las variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en invernadero indica un mejor comportamiento para el T4, con un valor 10.18 (Cuadro 4.16)

La variedad transgénica NuCOTN 35B (T4) presentó valores superiores para las variables PF, PS y CA seguida por las variedades DP 5690 (T6) y DP 675 (T5) que fueron agrupados en un mismo nivel de significancia.

Al igual que la evaluación realizada diez días después de la siembra, la evaluación a los 20 días reflejo diferencias a nivel fisiológico en el desarrollo de las plantas.

Poponigis (1975) menciona que el IVE puede ser empleado para determinar el vigor relativo entre lotes de semillas, ya que mide la velocidad de emergencia de las plántulas en condiciones de campo o similares.

Cuadro 4.16. Medias de variables evaluadas en el ensayo de índice de velocidad de emergencia en algodón convencional y transgénico en invernadero

Tratamiento	IVE	LP†† cm	LR†† cm	PF†† g	PS†† g	CA†† g
1	8.24 abc	11.97 a	6.73 a	7.00 ab	1.08 ab	5.91 ab
2	7.75 abc	10.91 a	6.79 a	6.29 ab	0.90 ab	5.39 ab
3	8.31 ab	12.08 a	6.56 a	6.12 ab	1.02 ab	5.10 ab
4	10.18 a	12.86 a	7.16 a	7.73 a	1.25 a	6.48 a
5	6.09 c	11.43 a	6.71 a	5.46 b	0.80 b	4.65 b
6	4.59 bc	10.80 a	6.77 a	5.64 b	0.89 ab	4.75 b
Tukey	3.65	2.46	2.23	1.98	0.37	1.64

† Tukey al 5%, los tratamientos agrupados con la mismas letra son estadísticamente iguales

.†† Evaluado 20 días después de la siembra.

IVE = Índice de velocidad de emergencia.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Los resultados de los ensayos de germinación estándar, envejecimiento artificial e índice de velocidades mostraron diferencias estadísticas entre variedades transgénicas y convencionales.

Las variedades transgénicas mostraron un comportamiento fisiológico superior al de las variedades convencionales.

La variedad NuCOTN 35B superó a su progenitora convencional DP 5690 en la mayoría de los parámetros evaluados en los diferentes ensayos, demostrando que presenta mayor vigor y viabilidad.

El mejor comportamiento de la variedad transgénica, puede ser consecuencia de la introducción en su genoma del gen Cry y otros genes, ya que se sintetizan políptidos que posiblemente modifican el comportamiento de la planta.

De acuerdo a los resultados, las variables plántulas normales al primer conteo (PN) del ensayo de germinación estándar, plántulas normales en el ensayo de envejecimiento artificial e índice de velocidad de emergencia, permiten discriminar entre variedades transgénicas y sus progenitores convencionales.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad fisiológica de variedades de algodón transgénico (DP20B, DP428B, DP458BR y NuCOTN35B) y convencional (DP675 y DP5690), en semilla experimental que se obtuvo de un lote en donde se evaluó rendimiento y características de fibra durante el ciclo PV 2000 en la Comarca Lagunera.

Las semillas se ensayaron para germinación estándar y vigor (envejecimiento artificial) así como para índice de velocidad de emergencia, de acuerdo a los procedimientos establecidos por la ISTA y la AOSA.

Los resultados indican diferencias significativas entre variedades, para las variables evaluadas en los diferentes ensayos.

La variedad transgénica NuCOTN35B mostró un comportamiento fisiológico superior al resto de las variedades, incluyendo su progenitora la DP5690.

La superioridad de la variedad NuCOTN35B se puede atribuir a los genes insertados en su genoma.

Literatura.

Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. Seed Vigor Testing Handbook, Contribution, U.S.A. N° 32 to the Handbook on Seeds Testing.

Copeland, L. O. and M. B. Mc Donald. 1985. Principles of Seed Science and Technology. The Burgess Publishing Company, U.S.A.

Deltapine seed, 1998. [www. Deltapineseed.com](http://www.Deltapineseed.com).

Delouche, J. C. and C. C. Baskin. 1976. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Sci. and Technol. 1 (2): 427 – 452. U. S. A.

Delouche. H. H. 1986. Physiological seed quality. Short course for seedsmen. Mississippi State University. Vol. 27: 51- 59. U.S.A.

Ellis, R. H. y E. H. Roberts. 1980. Hacia una base racional para evaluar la calidad de la semilla. En: Habbleshwaite, P. D. Producción Moderna de Semillas Escuela de Agricultura, Universidad de Nottingham. Ed. Hemisferio sur. 693 – 701. England.

- Fakorade, M.A.B. and D.K. Ojo. 1981. Variability for seedling vigor in maize. *Expl. Agr.* 17: 195 – 201. U.S.A.
- Feistritzer, W.P. 1975. *Cereal Seed Technology. A manual of cereal seed production, quality, control and distribution* FAO – United Nations. 87 – 93. Rome.
- Goff, J. 1971. Accelerated aging tests at work. *Seeds month's Digest*, 22(10): 8–9, 14. and 27. U. S. A.
- Godoy, A. S. 1998. Variedades transgénicas de algodónero. Oportunidades y retos. La Laguna – INIFAP, Torreón, Coah. 13 p.
- Godoy, A. S. 1999. Variedades transgénicas: Alternativa para reducir daños por plagas en algodónero. Semillas transgénicas. X Curso de Actualización en Tecnología de Semillas. CCDTS – UAAAN. Octubre 20 – 22 de 1999. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Heydecker, W. 1969. Report of the vigor test, committee 1965–1968. *Proceedings of the International Seed Testing Association.* 34 : 751 – 774. Hullande.
- International Seed Testing Association. (ISTA). 1981. *Handbook on seed sampling.* Ed. Bould A. ISTA.

International Seed Testing Association. (ISTA). 1985. International Rules for Seed Testing. Rules 1985, Seed Sci. Technol 21:1 – 288.

International Seed Testing Association. (ISTA). 1987. International rules for seed testing. Seed Sci. and Technol. 4 : 3–49.

James, C. 1999. Global review of comercialized transgenic crops: 1999. ISAAA. Briefs No. 12. ISAAA, Ithaca N. Y. 9 p.

Johnson, R. R. and L. M. Wax. 1978. Relationship of soybean germination and vigor test to field performance. Agron. J. 70(2): 273 – 278.

Manuales para educación agropecuaria. 1982. Cultivos de fibras. Ed. Trillas. México. p. 11 – 22.

Maguire, J. D. 1961. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 2 : 176 – 177.

McDonald Jr. 1975. A review and evaluation of seed vigor tests. Proc. of official seed analyts. Vol. 65: 117 – 122. U.S.A.

_____. 1977. The influence of seed mousture on the accelerated aging seed vigor test. Journal of Seed Technology. 2 (1): 12 – 28. U.S.A.

- _____. 1982. A modified accelerated aging seed vigor test for soybeans. *Journal of Seed Technology*. 3(1): 27–37. U.S.A.
- Medina, M.E. 1977. Importancia de la longevidad de la semilla en la producción de híbridos de maíz. Tesis de Maestría en Tecnología de Semillas. CCDTS Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Miranda, F. 1984. Vigor y pruebas de vigor de semillas. Conferencia VIII. Curso de Postgrado en Tecnología de Semillas. CIAT, Cali, Colombia. 18 p.
- Moreno, M. E. 1988. Identificación de hongos de almacén. Universidad Nacional Autónoma de México. Edit. Limusa, México.
- Monsanto. 1998. B.t: facts and figures; key dates in B.t history. Disponible en línea con la información en: <http://www.monsanto.com/ig/-asp/monsanto>. Asp. (verificado 10 Dic. 1998).
- Nobbe, F. 1876. *Handbuch der samen bunke*. Berlin: Wiegandt – Hempel – Parey.
- Perry, A. D. 1976. Seed vigor and seedling establishment. *Advances in research and technology of seeds*. Edit. J.R. Johnson, Internacional Seed Testing Association, part two. 62 – 85. The Netherlands.

_____. 1980. El concepto de vigor de la semilla y su relevancia en las técnicas de producción moderna de semilla. Escuela de Nottingham. Editorial Hemisferio.

_____. 1987. Introduction, methodology and application of vigor tests. Growth and Evolution Test: Topographical Tetrazolium Test. p. 72 ISTA. Handbook of Vigour Test Methods. 2nd ed. Zurich, Switzerland..

Poponigis, F. 1975. Fisiología de sementes. 2^{da} Ed. Brasilia.

Roberson, R. 1999. Mayor wored Cotton Producers. World agricultural production. Disponible en linea con la informacion en: [http// www.brs.gov.au/agrifood/ cotton 99. html](http://www.brs.gov.au/agrifood/cotton99.html) (cerificado 20 enero, 2000).

Ruiz, T. N. A. y R. S. Froylán, 1999. ¿ Que es una planta manipulada a través de la ingeniería genética?. X curso de Actualización en Tecnología de Semillas. CCDTS UAAAN. p. 1–8. Octubre 20–22 de 1999. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

SAS Institute INC. 1990. SAS/STAT User's guide. Version 6, 4 th ed. Vol. 2. SAS Inst. Inc., Cary, N. C.

SAS Institute Inc. 1992. SAS Tenical Report. SAS/STAT Software: Chages and onhancements, Release 6.07 SAS Inst. Inc., Cary, N. C.

Sayers, R. 1982. Pruebas de Germinación y Vigor. Memorias del II curso de actualización sobre tecnología de semillas UAAAN–AMSAC. p 129 – 136. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Tekrony, D. M. 1982. Seed vigor testing. Journal of Seed Technol. 8(1): 55-60. U. S. A.

Tomer, R.P.S. and J.D. Maguire. 1990. Seed vigour studies in wheat. Seed Sci. y Technology. 18: 383–392. The Netherlands.

APENDICE

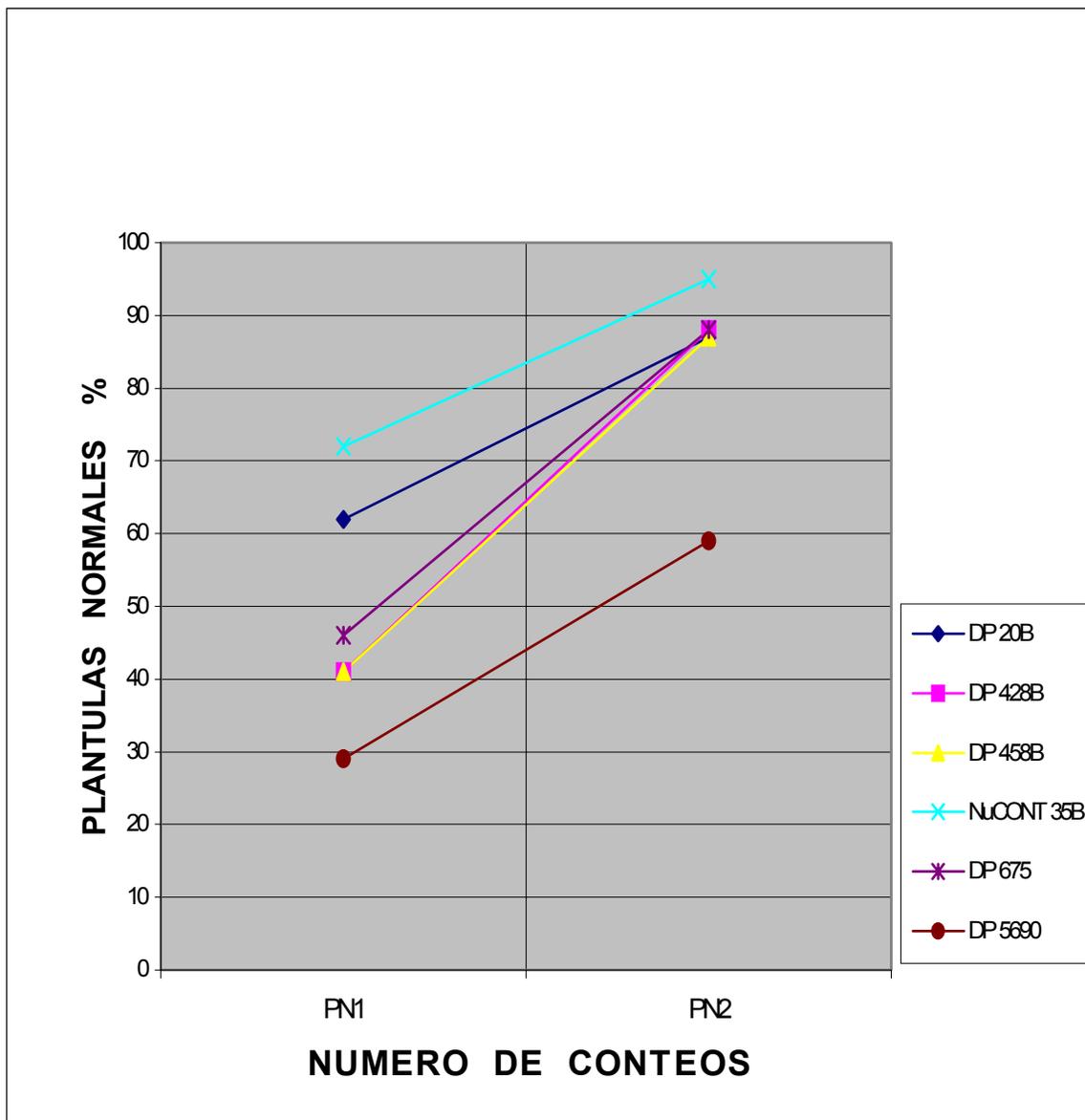


Figura 1. Porcentaje de plántulas normales en el primer y segundo conteo para el ensayo de germinación estándar.

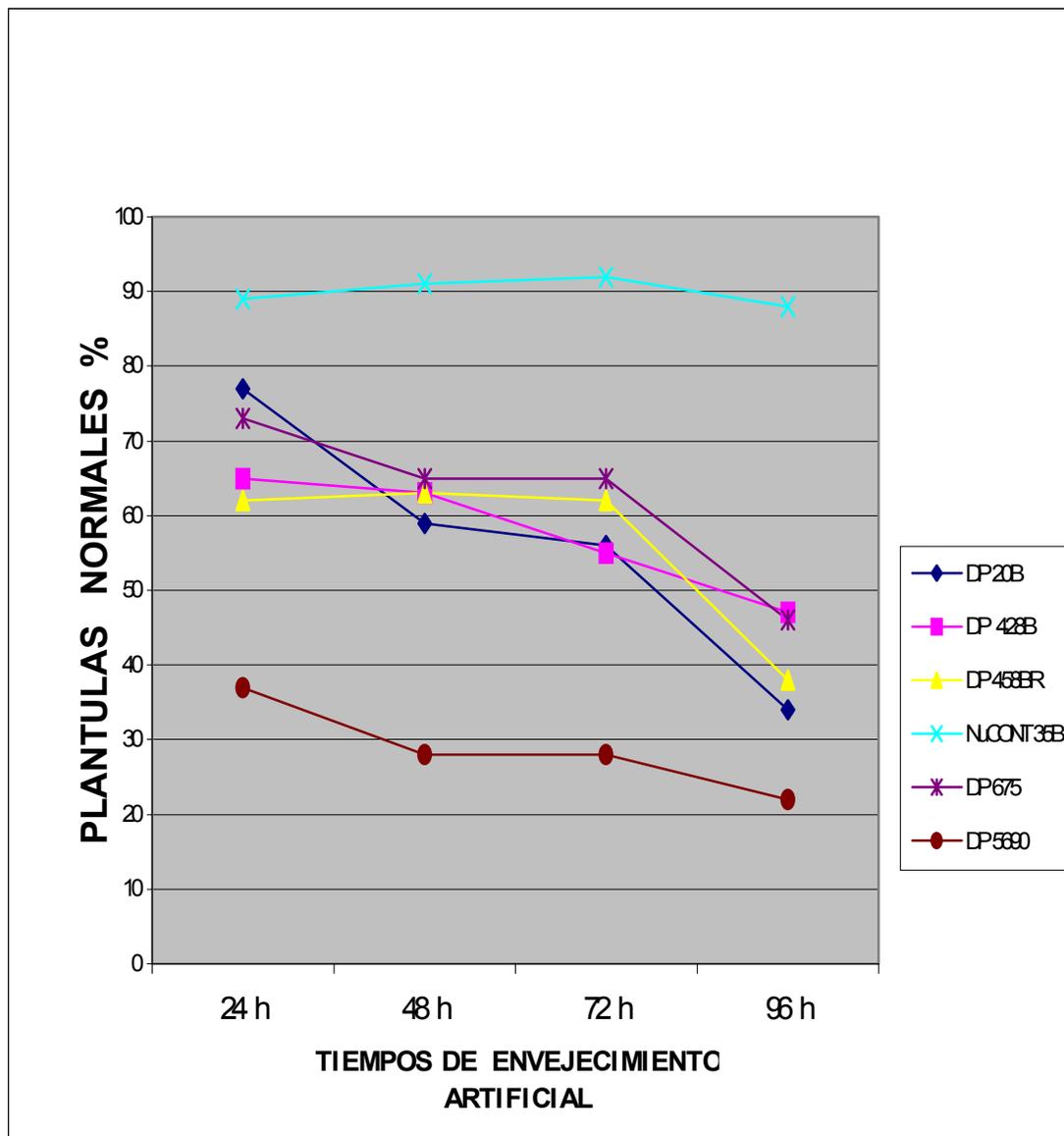


Figura 2. Porcentaje de plántulas normales para el ensayo de vigor con diferentes tiempos de envejecimiento artificial.

