

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EFFECTOS DEL PREACONDICIONAMIENTO DE SEMILLA DE MAÍZ
SOBRE LA GERMINACIÓN Y VIGOR

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO FORESTAL

PRESENTA

GRISELDA IVETT BRICEÑO SÁNCHEZ

ZAPOPAN, JALISCO. ABRIL DEL 2004



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERO AGRONOMO
COMITE DE TITULACION

ING. ELENO FELIX FREGOSO
DIRECTOR DE LA DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS
PRESENTE

Con toda atención nos permitimos hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobada la modalidad de titulación: TESIS con el título:

" EFECTOS DEL PREACONDICIONAMIENTO DE SEMILLA DE MAIZ SOBRE LA GERMINACION Y VIGOR "

El cual fue presentado por él (los) pasante(s):

BRICEÑO SANCHEZ GRISELDA IVETT

El Comité de Titulación, designó como director y asesores, respectivamente, a los profesores:

M.C. LUIS JAVIER ARELLANO RODRIGUEZ	DIRECTOR
M.C. JOSE SANCHEZ MARTINEZ	ASESOR
M.C. ADRIANA N. AVENDAÑO LOPEZ	ASESOR

Una vez concluido el trabajo de titulación, el Comité de Titulación designó como sinodales a los profesores:

DR. ELIAS SANDOVAL ISLAS	PRESIDENTE
M.C. SALVADOR HURTADO DE LA PEÑA	SECRETARIO
M.C. MOISES MARTIN MORALES RIVERA	VOCAL

Se hace constar que se han cumplido los requisitos que establece la Ley Orgánica de la Universidad de Guadalajara, en lo referente a la titulación, así como el Reglamento del Comité de Titulación.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Zapopan, Jal. a 22 de abril de 2004.

ING. RENÉ RODRIGUEZ VILLALOBOS
PRESIDENTE DEL COMITE DE TITULACION

M.C. SALVADOR GONZALEZ LUNA
SRIO. DEL COMITE DE TITULACION

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María, por guiarme siempre por el mejor camino y nunca dejarme sola, por iluminarme para hacer siempre lo correcto, por darme todo lo que tengo y hacer de mí la persona que ahora soy y por haberme dado a mi familia.

A mis padres Alfonso y Griselda por todo lo que siempre me han dado, por el gran esfuerzo que hicieron por que terminara mi carrera y por que yo fuera una persona responsable, por todos los buenos ejemplos que día a día me dan y todo el cariño, paciencia y la confianza que me han demostrado. A mis hermanos Nora y Juan Miguel por siempre estar conmigo, por todos los momentos que hemos pasado juntos y que siempre nos hemos ayudado cuando lo necesitamos, por todo lo que de ustedes he aprendido y por su paciencia y cariño. A Mi cuñado Arturo por su gran paciencia y respeto. A mis tíos, Lili, Eduardo y Héctor por que siempre están conmigo y nunca me dejan sola, por siempre apoyarme a ser mejor cada día, por sus consejos y darme un ejemplo de lucha para conseguir todo lo que me he propuesto. A mi tía Leticia, a mi mamá María y a mi abuelita Soledad por que se que siempre están conmigo cuidándome y por todas las cosas tan importantes de la vida que de ustedes aprendí. Y a mis sobrinos Max y Rafael por que son ellos los que siempre me animan en los momentos mas difíciles, por que ellos me inspiran a luchar y a ser mejor persona, cada día.

Al maestro Luis Javier Arellano Rodríguez, por toda su ayuda, dedicación esfuerzo y paciencia que tuvo conmigo para la realización de este trabajo y durante toda mi carrera. Por todos sus consejos y enseñanzas. Por que aparte de ser mi maestro fue mi amigo. A su familia, su esposa y sus hijos por que tuve la gran fortuna de conocerlos y convivir con ellos.

A los maestro del Laboratorio de Semillas: la maestra Adriana Avendaño, maestro José Sánchez y el maestro Miguel Padilla por su apoyo y orientación para realizar este trabajo.

A todos mis maestros a quienes les debo todo lo que se sobre mi carrera, por sus enseñanzas y su tiempo, su paciencia e interés para que siempre saliera adelante.

A los maestro del Dpto. Forestal quienes aparte de ser maestro excelentes igualmente son mis amigos. Al Doc. Agustín Gallegos, a la maestra Sandra Luz Toledo, el maestro Mora, el maestro Jesús Alonso, y a todos los demás maestros que forman el departamento, muchas gracias.

Al maestro Salvador Glez. Luna y maestro Rene Rodríguez por su gran apoyo desde el principio de mi carrera y sus consejos además de su gran amistad.

También les agradezco a los maestros Salvador Hurtado y al maestro Vargas Canela por sus enseñanzas y por que siempre me dieron muchos ánimos para seguir adelante.

A todos los maestros que siempre me brindaron su amistad, su apoyo y los mejores consejos muchas gracias. Ing. Herrejón, Ing. Carlos Aguirre, maestro Godinez.

A todos mis compañeros y amigos, la otra parte tan importante que durante el transcurso de mi carrera estuvieron siempre conmigo apoyándome y dándome muchos ánimos a seguir adelante. Sr. Delia, Gaby, Chema, Azucena, Lili, Efrén, Miguel Ángel, muchas gracias.

Verito, por que el poco tiempo que compartimos juntas fue el mejor y por haberme enseñado tantas cosas tan valiosas te doy las gracias y te deseo lo mejor para ti y toda tu familia.

May, por el gran placer de haberte conocido y haber aprendido tanto de ti, por que día a día era una nueva experiencia a tu lado, por todos los consejos, por todas las cosas que pasamos juntos y por estar siempre cuando te necesito muchas gracias.

A todos los que de alguna manera siempre formaron parte de mí en esta etapa de mi vida y durante mi carrera, maestros y compañeros, les doy las gracias y siempre los recordare con mucho cariño.

DEDICATORIA

A mis padres Alfonso y Griselda, por haberme dado su apoyo siempre y por que con su gran esfuerzo y gracias a Dios fue posible que yo tuviera una carrera profesional.

A mi tía Leticia, por que su recuerdo y su gran ejemplo me motivan a seguir siempre adelante.

A mi hermana Nora, por ser la mejor hija, hermana, madre y siempre la mejor estudiante y por que con su entereza y ánimo de lucha me da el mejor ejemplo.

A mi hermano Juan Miguel, por que siempre sus consejos y su carácter me impulsaron para nunca dejarme caer ante ninguna situación.

Y a mis sobrinos Maximiliano y Rafael, para que Dios me ayude a darles un buen ejemplo y a impulsarlos siempre adelante, como toda mi familia lo hizo conmigo.

CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.	2
Hipótesis.	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Formación y Germinación de la Semilla.	3
2.1.1 Formación de la semilla.	3
2.1.1.1 Componentes de la semilla madura.	5
2.1.1.2 Crecimiento activo del embrión.	6
2.1.2 Germinación.	7
2.1.2.1 Requerimientos para la germinación.	9
2.1.3 Condiciones internas de la semilla que Impiden la germinación.	15
2.1.3.1 Latencia.	16
2.2 Deterioro de Semillas.	18
2.2.1 Factores que afectan la longevidad de la semilla.	20
2.2.2 Síntomas de deterioro de semillas.	20
2.2.3 Germinación, emergencia y rendimiento.	21
2.2.4 Síntomas fisiológicos del deterioro.	22
2.2.5 Teorías del deterioro de semillas.	23
2.3 Calidad de Semillas.	29
2.3.1 Calidad fisiológica.	29
2.3.1.1 Definición de vigor.	31
2.3.1.2 Pruebas de vigor.	34
2.3.1.2.1 Ensayos de vigor directos.	34
2.3.1.2.2 Ensayos de vigor indirectos.	35
2.4 Acción de Hormonas y Reguladores de Crecimiento.	38
2.4.1 Auxinas.	39
2.4.2 Giberelinas.	41
2.4.2.1 Mecanismo de acción.	42
2.4.3 Las citocininas.	45
2.4.4 Calcio.	47
2.4.4.1 Propiedades y estado natural.	47

CONTENIDO

		PAGINA
2.5	Inhibidores del desarrollo vegetal.	48
2.6	Revigorización de Semillas.	49
2.6.1	Osmoacondicionamiento de semillas.	51
2.6.1.1	Humedecimiento – secado.	52
III.	MATERIALES Y METODOS	
3.1	Localización del experimento.	56
3.2	Material genético.	56
3.3	Materiales y equipo utilizado.	56
3.4	Metodología.	57
3.4.1	Procedimiento.	57
3.4.1.1	1ra fase Humedecimiento – secado.	57
3.4.1.1.1	Diseño experimental y análisis estadístico.	59
3.4.1.2	2da fase humedecimiento – secado + dosis producto + tiempo de imbibición.	59
3.4.1.2.1	Variables evaluadas.	60
3.4.1.2.2	Diseño experimental y análisis estadístico.	60
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1	1ra fase Humedecimiento – secado.	61
4.1.1	Pruebas de germinación y vigor después del secado (vel. emergencia).	63
4.1.1.1	Análisis de varianza.	63
4.1.1.2	Análisis de medias.	64
4.2	2da fase Humedecimiento – secado + dosis producto + tiempo de imbibición.	66
4.2.1	Análisis de varianza.	66
4.2.2	Análisis de medias.	67
V.	CONCLUSIONES	71
VI.	BIBLIOGRAFIA	72

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
1. Distribución de tratamientos químicos a la semilla en 2da. fase (dosis y tiempo de imbibición).	59
2. Análisis de varianza en la variable germinación estándar después del secado de la semilla.	63
3. Análisis de varianza en la variable velocidad de emergencia después del secado de la semilla.	63
4. Resultados obtenidos en la variable velocidad de emergencia en la prueba de medias con el uso de agua purificada y no purificad.	65
5. Análisis de varianza en la variable porciento de germinación durante la segunda fase.	66
6. Análisis de varianza en la variable velocidad de emergencia.	67
7. Tabla de medias del factor tratamiento (FT) y tiempo de imbibición (FC).	68
8. Tabla de medias en la variable velocidad de emergencia para producto y tiempo.	69

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
1. Contenido de humedad en la semilla en agua purificada y no purificada (corriente) después del periodo de imbibición.	61
2. Contenido de humedad de la semilla en agua purificada y no purificada (corriente) después del periodo de secado.	62
3. Porcentaje de germinación estándar después del periodo de secado a diferentes tiempos de imbibición en agua purificada y no purificada (agua corriente).	64
4. Velocidad de emergencia obtenida en agua purificada y no purificada (corriente) en los diferentes tiempos de imbibición en pruebas de campo.	65
5. Porcentaje de germinación obtenido en el factor tiempo de imbibición.	68
6. Resultados obtenidos en porcentaje de germinación en los 67 tratamientos evaluados (testigo No. 67).	69

RESUMEN

La calidad fisiológica de las semillas está referida a la capacidad de germinación y de vigor para establecer y producir nuevos individuos. Sin embargo existen factores, internos y externos, que afectan la calidad fisiológica de las semillas repercutiendo esto directamente en la germinación de las mismas. De los factores internos sobresalen la longevidad de las semillas, embriones no desarrollados, etc., en los externos influyen las condiciones ambientales tales como agua, temperatura, luz y oxígeno. Otro de los aspectos que contribuyen también a la pérdida de la germinación son las condiciones de almacenamiento después de la cosecha y un ambiente adverso cuando las semillas son llevadas al campo, en donde a veces permanecen por un periodo de tiempo considerablemente prolongado.

Debido a estos problemas que se presentan y que dan como resultado el deterioro de la semilla y en muchas ocasiones un fallo en la germinación de ésta, se han realizado algunos estudios con tratamientos químicos y físicos para lograr reducir el periodo de emergencia de la plántula y así obtener una respuesta favorable al estrés de la semilla. En el presente estudio con el propósito de acortar el tiempo entre siembra y emergencia de la plántula así como de lograr un alto porcentaje de germinación y vigor, en semillas de maíz deteriorada, se realizaron una serie de tratamientos de humedecimiento – secado de semilla. El trabajo se realizó en dos fases; en la primera fase se llevó a cabo el preacondicionamiento de las semillas utilizando agua purificada y agua sin purificar (agua corriente), y en la segunda fase la semilla fue imbibida en agua más productos como Activol y Biozyme (Ag3), Calcidef y Calciofem cuyo principal ingrediente es el calcio. En la primera fase se utilizaron diferentes horas de imbibición (2,4,6,8,12,18,24,36 y 40 hrs.); mientras que en la segunda fase fueron de 2, 8 y 12 hrs. Se trabajó con un lote de semillas del híbrido UDG-600 con un porcentaje inicial de germinación del 75 por ciento y bajo vigor. Siendo el objetivo de la investigación el determinar el periodo óptimo de imbibición en semillas por medio del humedecimiento y secado. Los trabajos y evaluación se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis de Semillas e invernadero pertenecientes al CIPROS del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la

Universidad de Guadalajara. Las variables a evaluar fueron germinación estándar y velocidad de emergencia (como medida de vigor). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones. Los tratamientos fueron analizados por medio de parcelas divididas, utilizando como prueba de medias a la diferencia mínima significativa (DMS). Para la primera fase el análisis de varianza arrojó diferencia significativa ($\alpha \leq 0.01$) en la variable germinación estándar en cuanto al tiempo de imbibición y no significancia en lo referente al tipo de agua (purificada y no purificada). Se encontró significancia ($\alpha \leq 0.01$) en la interacción entre tipo de agua y tiempo de imbibición, debido posiblemente a que se alcanzó un porcentaje mayor de humedad y de germinación en la semilla en un tiempo menor en agua purificada (entre 2 y 18hrs); mientras que en agua no purificada se alcanza un alto contenido de humedad (40 hrs) y germinación máxima en un tiempo de 12 y 36 hrs de imbibida la semilla. Para la variable velocidad de emergencia se encontraron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.01$) en el tipo de agua y tiempo de imbibición, los mejores períodos de imbibición correspondieron a 2 y 12 hrs. en agua purificada; en tanto que en agua no purificada fueron a las 12 y 36 hrs. De manera general el mayor vigor y germinación se dio a las 2 hrs. de imbibición en agua purificada y de 12 a 36 hrs. en agua no purificada.

Durante la segunda fase el testigo mostró una caída en la germinación de un 75% a un 36%. En los análisis de varianza para la variable germinación estándar se encontró significancia ($\alpha \leq 0.01$) en cuanto a las variables producto y tiempo de imbibición mostrando una recuperación en la germinación de la semilla con la utilización de los distintos productos. En la interacción de producto por tiempo de imbibición los mejores tratamientos correspondieron a calcidef (calcio), activol (ácido giberélico) y biozyme (Ag3) a tiempo de 8 hrs. de imbibición; mientras que, en la variable velocidad de emergencia solo hubo significancia ($\alpha \leq 0.01$) en el factor tiempo, siendo el mejor el de 8 hrs. de imbibición. Al hacer un análisis individual de cada tratamiento se encontró que la mejor respuesta en germinación y vigor se dio con activol a 0.2 g/l a 12 hrs. y 0.5 gr/l en 8 hrs., biozyme y calcidef a 1 gr/l en 8 hrs. de imbibición.

I. INTRODUCCIÓN

En los programas de producción de semilla, el objetivo principal es obtener semilla de calidad ya que es a partir de ella se originan plantas sanas y vigorosas de buen potencial productivo. Una semilla de calidad comprende alta pureza genética, física, fisiológica y sanitaria.

En el aspecto fisiológico, su mayor potencial se logra al momento de su madurez fisiológica y es a partir de ésta etapa en que se inicia el proceso de deterioro que se manifiesta fundamentalmente en la reducción de la germinación y vigor y la magnitud de esa reducción depende del manejo que se le de a la semilla durante y después de la cosecha y hasta el momento de la siembra.

Después de la madurez fisiológica, el tiempo de cosecha y el almacenamiento de la semilla, los factores que más efecto tienen sobre su longevidad son; la temperatura y el contenido de humedad de la misma, el exceso de humedad, temperaturas altas, infestación de hongos, daños mecánicos y las inadecuadas condiciones de almacenamiento pueden llevar a la semilla a la muerte.

La semilla conforme envejece manifiesta pérdida en la germinación y vigor hasta llegar a su muerte. A fin de buscar mecanismos útiles para revigorizar semillas viejas o retardar el deterioro de estas durante su almacenamiento, así como de reducir el período entre siembra y emergencia, se han probado una serie de tratamientos químicos y físicos, como el humedecimiento y secado, aplicación de agentes quelatantes, nitratos, ácido giberélico, gas etileno y citocininas, entre otros.

En el presente estudio con el propósito de recuperar el vigor y germinación en semilla de maíz deteriorada, se realizaron una serie de tratamientos con la utilización de productos conteniendo ácido giberélico y calcio, así como también agua purificada y agua no purificada (agua corriente), conjuntamente con el humedecimiento y secado de la semilla.

1.1 Objetivos

- 1.1.1** Determinar el período óptimo de imbibición en semilla de maíz UDG – 600.
- 1.1.2** Conocer y valorar el efecto que tiene sobre la germinación y velocidad de emergencia el uso de agua no purificada y agua purificada.
- 1.1.3** Evaluar la respuesta de la semilla al ser imbibida con productos conteniendo ácido giberélico (Ag3) y calcio.
- 1.1.4** Recuperar el vigor y germinación de la semilla de maíz deteriorada con el método de humedecimiento y secado.

1.2 Hipótesis.

- 1.2.1** La velocidad de emergencia en semilla de maíz depende del tiempo de imbibición.
- 1.2.2** El tipo de agua utilizada durante el tiempo de imbibición juega un papel determinante en la velocidad de emergencia.
- 1.2.3** La semilla imbibida en agua con productos químicos que contengan ácido giberélico (Ag3) y calcio (Ca) presentan una germinación y emergencia más favorable que los testigos.
- 1.2.4** Con la técnica de humedecimiento y secado de semilla se puede favorecer la germinación de la semilla y se acorta el tiempo de emergencia en campo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Formación y Germinación de la Semilla

2.1.1 Formación de la semilla

En algún momento, en el ciclo de la vida de las plantas anuales ó en el ciclo estacional de las perennes, el equilibrio de los procesos fisiológicos cambia del crecimiento a la reproducción. Los órganos reproductores comienzan a formarse, desarrollarse y madurar .

Al respecto Delouche (1979), menciona que ciertas células dentro de los órganos masculinos y femenino experimentan la meiosis, y producen gametos masculinos y femeninos con un número reducido de cromosomas, es decir, un cromosoma de cada par. El estambre es el órgano masculino que produce granos de polen, que llevan el esperma o núcleos masculinos. El pistilo u órgano femenino consiste de un ovario, estigma y estilo. El ovario contiene óvulos, dentro del cual están situadas las células femeninas u ovocélulas – una ovocélula por óvulo- . En las angiospermas, dos células adicionales, los núcleos polares, participan en el acto reproductivo global. Un grano de polen es trasladado de la antera al estigma del pistilo, este germina y produce un tubo que crece hacia abajo a través del estilo, y entra al ovario y a un óvulo. Un núcleo de esperma del tubo de pólen se fusiona con la ovocélula, mientras que un segundo núcleo se fusiona con los dos núcleos polares en el óvulo. Esta doble fertilización es característica de las angiospermas ó plantas de floración.

De la misma manera, Duffus y Slaughter (1985) señalan que los cambios morfológicos y bioquímicos que acompañan a la maduración de la semilla, son de particular interés, puesto que conducen a la identificación de los factores involucrados en el control del rendimiento y la composición de la semilla al cosecharse.

Los hechos iniciales que siguen a la fertilización son similares a los de las plantas de flor. El polen germina sobre el estigma formando el tubo polínico, que penetra en el estilo y lleva los dos núcleos masculinos al saco embrionario. Un núcleo masculino se fusiona con el núcleo de la célula del huevo formando el cigote. El segundo núcleo gamético masculino penetra en la célula central y se une con los dos núcleos polares para formar el núcleo del endospermo primario. El desarrollo posterior del cigote y del endospermo difieren considerablemente en diferentes grupos de plantas. El endospermo generalmente es de tejido almidonoso y los embriones son normalmente reservorios de lípidos y proteínas. (Duffus y Slaughter, 1985).

Después de la fertilización el ovario se convierte en el fruto, mientras que los óvulos se convierten en la semilla. La ovocélula fertilizada se divide, se multiplica, se desarrolla y se diferencia en el embrión con un número $2n$ de cromosomas, (uno de cada par de los progenitores masculino y femenino). Los núcleos polares fertilizados se desarrollan en el endospermo. La tésta o cubierta de la semilla se deriva del tejido materno: los integumentos del óvulo, mas en algunos casos, los tejidos accesorios tales como el pericarpio (cubierta del fruto), y cascarillas. El embrión llega al desarrollo total y el crecimiento cesa. El contenido de humedad de la semilla en maduración, continúa disminuyendo y las reservas alimentarias continua acumulándose. La semilla alcanza la madurez fisiológica; es decir, la acumulación máxima de materia seca, y la deshidratación de la semilla continua hasta que se establece un equilibrio entre la semilla y la humedad relativa del campo ó medio ambiente de almacenamiento.

Durante la formación de la semilla, el endospermo se desarrolla y constituye una parte principal de la semilla, en algunas especies, por ejemplo, la porción de almidón de un grano de maíz. En otras especies, el endospermo se desarrolla hasta un punto y luego es reabsorbido, y es reemplazado en su función de almacenamiento de alimentos por los cotiledones, órganos del embrión (Delouche ,1979).

2.1.1.1 Componentes de la semilla madura

La unidad de semilla madura consiste de tres componentes esenciales: una cubierta de la semilla, un tejido de almacenamiento o apoyo y un eje embrionario en un estado de desarrollo suspendido. Cada uno de los tres componentes de la semilla tiene papeles y funciones esenciales.

De acuerdo a Delouche (1979), la testa de la semilla tiene dos funciones: una función protectora y una función reguladora. La testa de la semilla mantiene una condición "estéril" dentro de la semilla y protege la semilla contra la invasión de microorganismos externos y el abuso mecánico. La semilla con la testa fracturada es más susceptible a hongos en el almacenamiento, y a organismos de pudrición de la semilla en el suelo que la que conserva la testa intacta. En términos de protección contra el abuso mecánico, una semilla con una testa gruesa y algo elástica soporta mayores fuerzas mecánicas que una semilla con una testa delgada y quebradiza.

La testa de la semilla regula la tasa de absorción de agua, vapor, líquido y oxígeno. Las semillas siempre absorben agua más rápidamente al remover la testa que cuando está intacta.

El tejido de apoyo ó reserva de la semilla, el endospermo, cotiledones ó perisperma, contiene almidón, proteínas, grasas y aceites, minerales y otras sustancias. Durante la germinación estos materiales se descomponen para suministrar la energía, los "bloques de apoyo" y otros materiales nutricionales requeridos para apoyar la reanudación del crecimiento activo del eje embrionario. La función del eje embrionario es, desde luego, la reanudación del crecimiento activo que conduce al desarrollo de una plántula. La semilla madura se seca natural ó artificialmente hasta alcanzar un contenido de humedad del 8 al 13% , dependiendo de la semilla y su posterior uso.

Este nivel de hidratación es excesivamente bajo y puede solo apoyar un nivel de mantenimiento de la actividad, de los procesos de deterioro y de los cambios físicos – fisiológicos comprometidos en la pérdida de latencia.

De acuerdo a Duffus y Slaughter (1985), en la semilla se considera a la sucrosa generalmente como una fuente de lípidos y carbohidratos. La fuente precisa de nitrógeno se desconoce pero es casi cierto que no se encuentra en la forma de la serie completa de aminoácidos, en las proporciones correctas. Parece probable que unos cuantos aminoácidos tales como glutamato/glutamina y ácido aspártico/aspargina junto con el ión amonio sean los principales nutrientes nitrogenados que llegan a la semilla en el desarrollo. Posteriormente estos están sujetos a transformación metabólica antes de la deposición de las proteínas de la semilla. Otras sustancias que llegan al grano incluyen elementos minerales y posiblemente algunas hormonas. Todos los nutrientes son proporcionados al endospermo en desarrollo.

2.1.1.2 Crecimiento activo del embrión

La aparición de la punta de la radícula a través de las cubiertas es el primer indicio visible de la germinación.

Una vez aparecida la punta de la radícula fuera de las cubiertas, el proceso de germinación se acelera. La radícula crece y pronto emite pelos radicales, a través de los cuales se produce una absorción de agua superior a la realizada a través del micropilo y las cubiertas. En un momento determinado el tallo comienza también a alargarse.

Este alargamiento tiene lugar de dos formas distintas. En las semillas epigeas, se produce un rápido alargamiento del hipocótilo, que trae como consecuencia la emergencia de los cotiledones y la plúmula. Si el hipocótilo es fuerte y la siembra somera, la semilla sale fuera del terreno. Lo característico de la germinación epigea es la emergencia de los cotiledones, no la de la semilla.

Una vez emergidos los cotiledones comienza a alargarse la plúmula, que hasta este momento se ha desarrollado poco. De este alargamiento va surgiendo el futuro tallo. Los cotiledones se marchitan una vez que la plántula ha consumido sus reservas, pero en algunos casos persisten como verdaderas hojas funcionales.

En las semillas hipógeas los cotiledones permanecen bajo tierra; el hipocótilo no se alarga. Todo el desarrollo del tallo depende del crecimiento de la plúmula, que se abre paso hasta la superficie del suelo. (Besnier, 1965)

2.1.2 Germinación

Las semillas son partes constitutivas de organismos vivientes que respiran y utilizan el oxígeno del aire, producen bióxido de carbono, agua y energía que se traduce en calor; éstas partes constitutivas tienen sus actividades vitales reducidas a un mínimo, es decir se encuentran en estado de vida latente, por lo que a simple vista, dan la impresión de hallarse sin vida (Ramírez, 1987).

La germinación constituye el evento crucial y final en la vida de una semilla. Representa tanto la realización como el cumplimiento de la función básica de la semilla, la propagación. Sin duda, la semilla tiene otras funciones en la agricultura moderna. Estas son el principal mecanismo mediante el cual el mejoramiento de la ingeniería genética se transmite a las poblaciones de plantas de una generación de cultivos a otra. También se desempeñan eficientemente como un medio conveniente para la distribución de las poblaciones de plantas, a través de áreas de adaptación. Sin embargo, las dos últimas funciones son totalmente dependientes de la germinación. Una semilla que ha perdido su capacidad para germinar no puede transmitir las características genéticas, ni desempeñarse en la distribución de poblaciones deseables de plantas de un sitio a otro.

Las semillas son producidas para propagar los cultivos y otras especies deseables de plantas.

La germinación es un proceso de cambio de una pequeña estructura que vive con actividad mínima, a una planta que crece activamente destinada a llegar a la autosuficiencia antes de que los materiales de reserva se terminen. La germinación puede ser considerada como un complejo de procesos físicos y fisiológicos que resultan en la reanudación del crecimiento activo del eje embrionario.

El proceso de germinación consiste en la absorción de agua, la reactivación del metabolismo y la iniciación del crecimiento. La germinación no ocurre sino hasta que las condiciones sean las correctas. (Bidwell,1990).

La primera fase de la germinación es la absorción de agua (imbibición). Pero en la mayor parte de los casos puede considerarse que el proceso continuo de germinación está compuesto por dos fases:

1.- Inicio del metabolismo activo en el embrión, seguido rápidamente por el crecimiento y diferenciación del embrión, apoyado por la utilización del material de reserva embriónica inmediata.

2.- Crecimiento continuo del embrión, apoyado por el flujo de productos de la hidrólisis de los cotiledones o reserva alimenticia extraembriónica tal como el endospermo. Esta fase continua hasta que la planta se establece como un organismo fotosintético o muere por haberse terminado la reserva alimenticia.

La transición de la fase uno a la fase dos dependen de la aparición de una serie de enzimas hidrolíticas, en la reserva alimenticia, en respuesta al crecimiento del embrión.

La mayor parte de las semilla son tejidos relativamente secos, de manera que la germinación comienza con la imbibición de agua. Las semillas se hinchan debido a la absorción de agua por el material polimérico de reserva. Muy rápidamente, en el caso de semilla saludable, ocurren varios cambios metabólicos dentro del embrión. Los primeros que se reconocen son los incrementos en los niveles de metabolitos intermediarios y de enzimas asociadas con la producción de energía particularmente el ciclo TCA (Duffus y Slaughter, 1985).

La germinación es la transformación de un embrión en una plántula; fisiológicamente puede ser definida como la reactivación del crecimiento del embrión el cual fue suspendido durante la desecación de la semilla. Bioquímicamente, la

germinación es la diferenciación secuencial de las vías metabólicas tanto oxidativas como sintéticas. La germinación es un proceso que requiere energía ya que comprende tanto crecimiento como división celular.

Para que una semilla germine, se requiere que responda de una manera coordinada a los estímulos que disparan el proceso de la germinación. La imbibición de agua por la células de la semilla parcialmente deshidratada, las cuales después de unos minutos de hidratación responden reactivando muchos de los procesos metabólicos que durante el estado seco estaban detenidos o se efectuaban a muy baja velocidad (Bernal – Lugo, 1981).

2.1.2.1 Requerimientos para la germinación

La germinación de la semilla implica condiciones apropiadas tales como : humedad, luz, temperatura y suministro de oxígeno (Bidwell, 1990).

En estas condiciones la semilla absorbe agua a través de las cubiertas y el micrópilo, aumentando el volumen. En seguida se produce un rápido incremento de la respiración y la movilización de las reservas nutritivas bajo la acción de las distasas. El almidón, las grasas y las proteínas se convierten en sustancias solubles que afluyen al embrión y esto permite un rápido crecimiento.

a) Humedad:

La presencia de humedad es el primer requisito para la germinación; ésta humedad debe durar el tiempo suficiente para que la raíz haya podido alcanzar las capas de tierra constantemente húmedas, y además, debe mantenerse dentro de ciertos límites.

De acuerdo a Besnier (1965), la cantidad de agua que ha de absorber la semilla antes de germinar varía mucho con las especies; el contenido en agua de los granos de

germinación es del 40% en el maíz, mientras que en las judías es del 70%. Si la cantidad de agua es excesiva, muchas semillas no germinan; ello se debe, principalmente, a que el exceso de agua disminuye el aporte de oxígeno y la semilla no puede iniciar las transformaciones iniciales de la germinación. Algunas semillas, como las de espinaca o repollo, son particularmente sensibles al exceso de agua, mientras que otras germinan perfectamente bajo el agua, como sucede con algunos tréboles y el arroz.

Delouche (1979), señala que se requiere la humedad para la rehidratación de la semilla hasta niveles que pueden soportar la cantidad respiratoria aumentada, la descomposición de materiales de reserva complejos como: almidón, grasas y aceites, y proteínas en formas simples, móviles y utilizables, y la síntesis de nuevos materiales para el crecimiento. La humedad ó el agua deben estar disponibles en la fase líquida. La semilla no puede absorber suficiente vapor de agua para elevar el contenido de humedad, lo suficientemente para apoyar la terminación del proceso de germinación. El agua líquida requerida para la germinación, normalmente es suministrada por el medio sobre o dentro del cual se ha sembrado la semilla: tierra, turba, secantes, etc.

A medida que el agua continúa moviéndose dentro de la semilla, las células se rehidratan y empiezan a desarrollar una presión. La tasa de absorción de agua disminuye a medida que la presión interna, presión hidrostática, aumenta. Finalmente, se llega a un punto en el que la presión hidrostática en la semilla compensa cualquier diferencia restante en la presión de difusión entre el agua y el medio de la semilla, y se establece un equilibrio. La semilla está completamente "imbibida". La condición "completamente imbibida", corresponde aproximadamente al contenido de humedad de la semilla requerido para la germinación.

El contenido de humedad de la semilla requerido para la germinación varía entre las especies. Las semillas de una especie de la familia de las gramíneas, pastos, cereales pequeños granos, etc; debe alcanzar y mantener un contenido de humedad de 30 – 40% para que la germinación continúe hasta el punto en que el crecimiento activo se reanuda. Otros tipos de semilla, debido a las diferencias en la composición química,

requieren mayores contenidos de humedad para la germinación; 50 – 60% para la semilla de algodón, soya y maní.

- **Proceso de hidratación de la semilla**

Durante el proceso de germinación, la hidratación de la semilla se realiza en tres fases: una fase lag que separa dos fases de rápida ganancia de agua. La primera está asociada con la imbibición inicial y la segunda con el crecimiento de la radícula. La extensión de la fase lag es dependiente de la especie de la semilla y de la temperatura a la cual se realiza la hidratación. Aun cuando la imbibición puede ser despreciable durante esta fase, la semilla no es inactiva puesto que durante esta fase lag, se reactivan los sistemas metabólicos existentes resultando en un aumento en el metabolismo basal. Bernal – Lugo (1981).

La absorción de agua por una semilla esencialmente comprende un tipo especial de difusión llamado imbibición. El agua u otros materiales móviles, se desplazan de un sitio ó área donde la concentración es alta (más pura), a un área donde la concentración es menor (menos pura), mediante la difusión hasta que establece un equilibrio. El agua en una semilla a 10 al 13% del contenido de humedad no está muy concentrada, esta muy impura. Se encuentra en una concentración menor que el agua en un secante húmedo. El agua se desplaza del medio (tierra, turba, secante, etc) a la semilla. Las etapas iniciales de absorción de agua por parte de la semilla, son en su mayoría físicas. Estas son las mismas ya sea que la semilla esté viva y sea germinable, este viva y no sea germinable (latente), ó este muerta.

A medida que el agua continúa moviéndose dentro de la semilla, las células se rehidratan y empiezan a desarrollar una presión. La tasa de absorción disminuye a medida que la presión interna, presión hidrostática, aumenta. Finalmente se llega a un punto en que la presión hidrostática en la semilla compensa cualquier diferencia restante en la presión de difusión entre el agua en el medio y la semilla, y se establece un equilibrio. Delouche (1979).

- Imbibición

El proceso de imbibición está activamente implicado en la absorción del agua bajo ciertas circunstancias. Se trata del movimiento del agua de un área de alto potencial a otra de bajo potencial, pero sin la ayuda de una membrana diferencialmente permeable. Asimismo fuerzas de atracción, por lo regular químicas o electrostáticas, están implicadas en la imbibición. Los solventes se imbiben usualmente solo en materiales que tienen afinidad. Las presiones que se general por la imbibición, causadas por el inchamiento del imbibiente, pueden ser muy grandes: la presión de imbibición de una semilla en germinación rompe la testa, y una semilla insertada a modo de cuña en una fisura de roca puede resquebrajar la roca con la presión de su imbibición de agua por los materiales coloidales de las células, coadyuvan a que estas soporten condiciones severas de sequía debido a la tenacidad con que se retiene el agua imbibida. (Bidwel, 1990).

b) Oxígeno:

El oxígeno es necesario para la germinación de la semilla. El metabolismo durante los estadíos iniciales de la germinación puede ser anaerobio cambiando a aerobio, tan pronto como se rompe la testa se rompe y el oxígeno se difunde en su interior. La semilla con la testa intacta requieren mucho más oxígeno para respirar al máximo que aquellas a las que se les quitó la testa (Bidwel, 1990).

El oxígeno se necesita para un mayor aumento en la actividad respiratoria, con el fin de suministrar energía que active el proceso de germinación. Un exceso de humedad en el suelo u otro medio desplaza el oxígeno en los espacios de los poros y puede reducir su disponibilidad a la semilla, por debajo del nivel límite. Muchos tipos de semilla mueren y se fermentan en el suelo que está anegado durante más de dos o tres días. La testa o cubierta de algunos tipos de semillas, es responsable de la latencia en la semilla porque ésta restringe la absorción de oxígeno (Delouche, 1979)

c) Temperatura:

Para cada tipo de semilla existe un rango de temperatura dentro del cual el proceso de germinación puede llegar a completarse en un periodo razonable, sino está bloqueada por la latencia. El trabajo clásico sobre germinación de la semilla define tres puntos cardinales, a lo largo del rango de temperatura para la germinación de una especie. Estos son las temperaturas mínimas, máximas y óptimas. Solo difieren entre los diferentes tipos de semillas.

Temperatura Mínima: es la temperatura por debajo de la cual el proceso de germinación no sigue su curso hasta el punto del crecimiento visible del eje embrionario, dentro de un periodo de tiempo razonable. Para muchos tipos de semillas la temperatura mínima es difícil de establecer debido a su dependencia del tiempo. Ya que el efecto principal de una temperatura baja en la germinación es, hasta cierto punto, un retraso del proceso de germinación, la temperatura mínima establecida en un periodo de germinación de 10 días es generalmente mayor que cuando se permite un proceso de 15 o 20 días. Las temperaturas por debajo del mínimo pero superior al punto de congelación, generalmente son las letales para las semilla imbibidas, y no ocasionan la muerte a menos de que la exposición sea muy prolongada; existe una interacción con los microorganismos de pudrición de la semilla, ó la semilla es susceptible a lesión por enfriamiento debido a la imbibición. Generalmente, la semilla germina rápidamente cuando la temperatura se eleva del nivel submínimo al cercano al óptimo.

Temperatura Máxima: es la temperatura por encima de la cual los mecanismos de germinación fallan y no ocurre crecimiento visible. En contraposición con la temperatura mínima, la temperatura máxima es bastante específica y relativamente fácil de establecer. Además, una temperatura por encima de la máxima generalmente es letal. Las semillas imbibidas expuestas a temperaturas por encima del máximo mueren y se pudren en pocos días.

La Temperatura Óptima: para la germinación es la temperatura a la que germina el máximo porcentaje de semillas, en el periodo más corto. La temperatura óptima para la germinación generalmente está más cerca de la máxima que la mínima. El principal efecto al reducir la temperatura del nivel óptimo al mínimo, se encuentra en la tasa de germinación. El efecto de la temperatura en la germinación, está influido por la condición fisiológica de la semilla.

La temperatura afecta el proceso de germinación de varias formas. En general, la tasa de germinación aumenta de un nivel mínimo a un óptimo, e incluso un poco por encima del óptimo. La temperatura tiene un efecto pronunciado en la tasa de respiración y en muchos otros procesos comprometidos en la germinación, incluyendo la tasa de absorción de agua. Los efectos adversos del calor excesivo en el sistema viviente y en los materiales biológicos se vuelven más obvios. Hay un aumento en el porcentaje de plántulas anormales y de semilla deteriorada. Cuando la temperatura excede el nivel máximo, toda la semilla muere en unos pocos días (Delouche, 1979).

La temperatura correcta es importante para la germinación; generalmente las semillas no germinan por debajo de una cierta temperatura diferente según la especie. Las semillas muy pequeñas tienen tan solo mínimas cantidades de alimento almacenado para los principios del crecimiento del embrión, por lo que les es necesario volverse autótrofas cuanto antes. La exigencia de luz impide que esto suceda y asegura que la germinación ocurra solamente en la superficie o cerca de ella (Bidwel, 1990).

d) Luz:

La germinación de algunas semillas puede ser inhibida por la luz. Este puede ser también un mecanismo de protección que impide a las semillas con germinación lenta el que éste se produzca en las superficies durante un breve chubasco, pues se podría desecar antes de que sus raíces alcanzaran una capa de suelo con humedad constante y suficiente (Bidwell, 1990).

La mayoría de las semillas de un gran variedad de cultivos y un buen número de las semillas hortícolas germinan bien en la oscuridad. Muchas otras semillas, como las de gramíneas pratenses y bastantes malas hierbas, necesitan el estímulo de la luz para iniciar la germinación.

Se ha observado que ciertas clases de luz monocromática ejercen una acción más favorable que la luz natural, y que por el contrario, otras clases de luz inhiben la germinación. La luz roja acelera la germinación, mientras que la infrarroja la retrasa.

Una semilla que necesite luz para germinar no lo hará si permanece profundamente enterrada; ha de ser sacada a la superficie, aunque esto no signifique que tiene que quedar sobre ella, pues basta con la escasa luz que le llega cuando que da enterrada muy ligeramente. De esta manera nacen las semillas de malas hierbas al voltear el terreno cuando, al mismo tiempo que las luz, reciben los estímulos de una temperatura adecuada y un mayor aporte de oxígeno (Besnier ,1965).

2.1.3 Condiciones internas de la semilla que impiden la germinación

La edad de las semillas es un factor de importancia en la germinación. Contrariamente a la creencia popular, pocas son las que pueden sobrevivir durante muy largo tiempo. Algunas son capaces de sobrevivir solamente pocos días o semanas guardadas a muy bajas temperaturas, o bajo condiciones anaerobias parecen durar más. Ha habido muchos intentos de estudiar el metabolismo de semillas en inactividad o durmientes (es decir, que no germinan por que las condiciones no son buenas, letargo implica incapacidad de germinar aún en condiciones ideales). Sin embargo parece que la baja absorción de oxígeno de la semilla es probablemente el resultado de procesos no metabólicos destructores de lenta auto oxidación. (Bidwell, 1990).

Desde el punto de vista agrícola, una semilla alcanza su madurez cuando su contenido de materia seca llega al máximo. A partir de ese momento la semilla se deseca paulatinamente, hasta llegar al punto de madurez.

Las últimas fases de la maduración se desarrollan de una manera acelerada y a velocidad superior a la de la maduración fisiológica del embrión. Por tanto cuando la semilla ha alcanzado la madurez comercial, el embrión no ha completado aún en muchas ocasiones su desarrollo total y no se encuentra en condiciones de reanudar su crecimiento. Si entonces se coloca la semilla en las condiciones normales de germinación de una semilla bien madura se observa que no germina o que lo hace irregularmente, siendo muy bajo el porcentaje de semillas germinadas. (Besnier 1965).

2.1.3.1 Latencia.

Lo mismo ocurre cuando se cosechan las semillas maduras con frecuencia no germinan. Este estado se conoce como latencia, pero con el tiempo, después de un periodo de postmaduración la latencia se suspenderá y las semillas serán capaces de tener el 100% de germinación. En ocasiones las semillas maduras son capaces de germinar completamente, pero perderán esta propiedad por algún tiempo debido a condiciones adversas. A este tipo de latencia se le llama normalmente dormancia secundaria. (Duffus – Slaughter, 1985).

El letargo seminal tiene una importancia crítica para la supervivencia de las plantas, y muchos mecanismos diferentes han evolucionado para alcanzar tal fin: un periodo forzoso de baja actividad metabólica, bajo contenido de agua y nulo crecimiento durante el cual la semilla es muy resistente a los rigores del frío y la sequía. Además han evolucionado mecanismos que impiden a la semilla germinar inmediatamente después de caer al suelo, aunque las condiciones ambientales sean buenas. Este requisito que implica un periodo de desarrollo posterior entre la caída de la semilla y su germinación se denomina postmaduración. Los principales mecanismo que causan letargo en la semilla o lo prolongan impidiendo la germinación son lo siguientes:

Testa de la Semilla: En algunas semilla el letargo es impuesto por la presencia de la testa; si ésta se quita la semilla germina. La testa es casi impermeable a la difusión de los gases y el embrión puede mantenerse en condiciones de letargo por falta de oxígeno. El oxígeno puede ser necesario para las reacciones en el

REPORTE DE ANOMALIAS

CUCBA

A LA TESIS:

LCUCBA03351

AUTOR:

BRICEÑO SANCHEZ GRISELDA IVETT

TIPO DE ANOMALIA:

Errores de Origen:

Falta pagina No. 17

Al respecto Bidwel (1990), señala que numerosas semillas son capaces de germinar si se lavan bien con agua, lo cual sugiere la presencia de inhibidores solubles, difusibles, que pueden ser lavados. Otra sustancia que puede ser importante en la germinación de algunas semillas es el etileno. Muchos investigadores han demostrado que las semillas lo producen durante el periodo de germinación y que el letargo puede romperse mediante tratamientos con etileno. Cuando la semilla yace en el suelo el etileno se disipa; si está rodeada por suelo la concentración de etileno se vuelve demasiado alta para que haya crecimiento.

La semilla fracasa en la germinación y en desarrollarse en plántulas por muchas razones. Bajo condiciones óptimas de laboratorio, la falla en la germinación generalmente está asociada con la latencia, el daño mecánico severo ó deterioro que ha progresado hasta el punto de perderse la capacidad de germinar.

En el campo, donde las condiciones raras veces son óptimas para la germinación y emergencia, la semilla no germina por las mismas razones mencionadas anteriormente. Además la falla en la germinación a menudo está asociada con deficiencias en los requerimientos para la germinación, microorganismos del suelo e insectos, pájaros y otros animales. La toxicidad por residuos de herbicidas y otros agroquímicos en el suelo. Algunas veces hay germinación pero falla la emergencia por que la profundidad de la siembra es demasiada, o la costra del suelo excesiva. (Delouche, 1979).

2.2 Deterioro de Semillas

El deterioro se define como los cambios degenerativos e irreversibles que se presentan después de que la semilla ha alcanzado el nivel máximo de calidad, cuyas consecuencias se reflejan en una disminución de la capacidad de germinación y vigor. El deterioro es un proceso inevitable, pues todo ente viviente eventualmente debe deteriorarse y morir; el proceso es también irreversible, debido a que una vez que han iniciado los procesos catabólicos, no pueden dar marcha atrás (Delouche, 1973).

En la práctica el proceso de deterioración puede comenzar cuando la semilla se encuentra aún en la planta madre particularmente si las condiciones adversas conducen a un retraso en la cosecha y continúan cuando la semilla es almacenada (Perry, 1976; citado por Gómez, 1992).

Por otro lado, una clasificación más frecuente que se hace de las semillas es en base al deterioro y longevidad, en donde las han agrupado en semillas de vida corta y semillas de vida larga o longevas. Roberts (1972), se refiere a este tipo de semillas al introducir los términos de semilla "ortodoxa" y "recalcitrante" refiriéndose al comportamiento de las semillas en el almacén.

Las semillas ortodoxas tienden a ser más pequeñas, con excepción de las que tienen textura dura. En estado de latencia, su tasa respiratoria es mínima. El contenido de humedad, puede reducirse a menos de 5% y por ello, este tipo de semilla puede secarse y almacenarse a temperaturas de menos de 5°C y hasta -196°C con lo cual se reduce la dinámica del deterioro.

Las semillas recalcitrantes, por el contrario, tienden a ser más grandes y durante el período de latencia, su tasa respiratoria es alta y requieren de altos contenidos de humedad para mantenerse vivas. Así el peso es superior al de las ortodoxas por su tamaño y alto contenido de humedad.

De acuerdo a Cromarty et al. (1990). Las semillas recalcitrantes almacenadas en ambiente secos se deterioran rápidamente. Eventualmente esta deterioración resulta en pérdidas de viabilidad de semillas individuales (las semillas no germinan bajo condiciones óptimas). Las semillas mueren a diferentes tiempos. La proporción de semillas vivas es un indicador de la acumulación de deterioro dentro de semillas.

2.2.1 Factores que afectan la longevidad de la semilla

Mc. Donald and Nelson (1986), señalan cuatro factores que afectan la longevidad de la semilla como; contenido de humedad de la semilla, temperatura, atmósfera (oxígeno) y potencial genético.

Según Burris, citado por Rincón (1989), el deterioro es un proceso que comprende dos etapas: el proceso que ocurre en la semilla relativamente seca y la expresión de este proceso durante la rehidratación de la semilla.

La capacidad de almacenamiento de una semilla está determinada por el genotipo y la edad de la semilla, las condiciones ambientales y el nivel de deterioro al momento de entrar al almacén; la pérdida de esta capacidad, la disminución de la germinación y el vigor, así como el incremento de plántulas anormales son consecuencia directa del deterioro.

2.2.2. Síntomas de deterioro de semillas

Según Banerjee, citado por Rincón (1989), en la cebada el deterioro empieza en la punta de la raíz o coleoriza y continúa hacia la región del mesócotilo, y simultáneamente empieza también en la punta del escútelos y coleóptilo; en tanto que en la cebolla, se inicia en la punta del cotiledón, y avanza hacia el mesócotilo.

Copeland (1976), señala que las etapas de avance en semillas deterioradas son evidentes por síntomas visibles durante la germinación y crecimiento de plántulas. Sin embargo, hay procesos por cambios fisiológicos más sutiles, en cuyos síntomas pueden ser detectados solamente por medio de técnicas muy sofisticadas. En el Cuadro 1 se muestra la probable secuencia de cambios en semillas deterioradas, algunos de los cuales pueden ser medidos en pruebas de crecimiento; otros pueden ser detectados sólo por análisis bioquímicos.

Probable secuencia de cambios en síntomas de semillas deterioradas.

Reducción de Respiración--	I ---Pérdidas de Actividad Enzimática
Incremento de Acidos Grasos-	N ---Incremento de Semillas Vanas
Tasas Bajas de Germinación--	C ---Requerimientos Bajos Germinación
Bajas Tasas de Crecimiento--	R ---Reducción de Vida de Anaquel
y Desarrollo	E
Reducción de la Resistencia-	M ---Decremento de Uniformidad de plantas al estres
	E
Perdidas de Emergencia en---	N ---Reducción de Rendimiento en Campo
	T
Incremento de Plántulas-----	O ---Cambios de Color Anormales

DETERIORO

Muerte

2.2.3 Germinación, emergencia y rendimiento

El patrón básico de la germinación y el crecimiento, está determinado en forma genética; sin embargo, la expresión eventual está influenciada por las condiciones ambientales bajo las cuales se formó, cosechó, procesó, almacenó y sembró la semilla (Ching, 1973). Por lo tanto, el vigor en un lote de semillas depende de la interacción de todos estos factores.

El deterioro del vigor, se manifiesta por la reducción de la energía para la germinación, apareciendo plántulas anormales y muerte de la semilla, lo cual se evidencia por la disminución de la germinación y emergencia de las plántulas, como se ha observado en maíz (Gil, 1990), frijol, garbanzo, lenteja y mijo (Chhetri et al., 1993 citados por López, 1994).

La aparición de plántulas anormales durante la germinación, se debe a la pérdida de funciones vitales que ocurren en el interior de las semillas. Una semilla que produce una plántula anormal, se está aproximando a la muerte en un ambiente de almacenamiento determinado (Roberts, 1986).

El efecto del deterioro, además de manifestarse en las plántulas, también se manifiesta en el rendimiento. En plántulas anormales de cacahuate, aproximadamente el 95% tuvieron un sistema radical anormal, manifestado por la ausencia de sus raíces

primarias; con respecto al rendimiento, las plántulas provenientes de plántulas anormales rindieron en promedio, menos del 50% (Sullivan y Perry, 1976).

Sin embargo, los cambios degenerativos que se presentan en las semillas son mucho más complejos, de tal manera que antes de encontrar cambios en el proceso de germinación, se presentan cambios en los principales procesos bioquímicos asociados con el deterioro, y por eso se afirma que el vigor disminuye antes que la germinación de la semilla.

De acuerdo a Rincón (1989), los sistemas bioquímicos en la semilla (enzimas, proteínas, mitocondrias y ribosomas), parecen ser los sitios más susceptibles al envejecimiento causadas por las condiciones desfavorables de almacenamiento.

2.2.4 Síntomas fisiológicos del deterioro

El almacenamiento de semilla bajo condiciones adversas acelera el deterioro de las semillas, que se hace evidente mediante una variedad de síntomas asociados con la pérdida de vigor durante la germinación de las mismas. Algunos de estos síntomas están asociados con la disminución de la tolerancia a ambientes adversos durante el almacenamiento y reducción de la germinación, aumento de la sensibilidad a los tratamientos de radiación, cambios de color en la cubierta de la semilla, acompañado con el oscurecimiento del embrión y todo ello se ha relacionado con la pérdida de germinación y vigor (López, 1994).

En forma adicional, se reportan cambios en la respiración, actividad enzimática, conductividad eléctrica y en las reservas alimenticias. El metabolismo respiratorio causa una oxidación de las reservas alimenticias, producción de un gran número de sustancias precursoras en la construcción de bloques para la síntesis de componentes protoplásmicos (proteínas, ácidos nucleicos y lípidos) y producción de energía en forma de ATP para esas reacciones.

2.2.5 Teorías del deterioro de semillas

a) Alteración de la composición química

De acuerdo a Mc Donald and Nelson (1986), otra idea es que las reservas de almacenamiento pueden ser alteradas químicamente. Por ejemplo, el clásico concepto de Crocker y Groves (1915), sugieren que la muerte de la semilla resulta de una "coagulación de proteínas". También se conoce que los lípidos sufren oxidación y un incremento en ácidos grasos es asociado con el deterioro. Las proteínas también sufren cambios durante el almacenamiento por decrementos de solubilidad, rotura parcial, y decremento de la digestibilidad.

b) Cambios de estructura de proteínas

Se cree que una causa mayor del envejecimiento, es la desnaturalización de las proteínas por polimerización, ya que se ha observado que la desnaturalización de las histonas del cromosoma, puede bloquear la activación del ADN y la desnaturalización de las proteínas de la membrana, asimismo, puede incrementar su permeabilidad.

En semillas deterioradas de trigo, se ha observado que las proteínas disminuyen su solubilidad en agua, se reduce su digestibilidad por las enzimas proteolíticas pepsina y tripsina y hay un rompimiento parcial de sus moléculas (Abdul-Baki y Anderson, 1972; citados por López, 1994).

En semillas sometidas a envejecimiento acelerado, se redujo el contenido de proteína. Tales cambios en el metabolismo, fueron asociados con cambios proporcionales en el crecimiento de las plántulas (Chhetri et al., 1993; Kalpana y Madhava Rao, 1993; citados por López, 1994).

En general, la hidrólisis de los carbohidratos, lípidos y proteínas, tienen lugar bajo condiciones de almacenamiento desfavorables de alta temperatura y humedad. Tales

condiciones conducen a un rápido desarrollo de hongos y a una alta actividad metabólica de las semillas.

c) Cambios en la actividad enzimática

La respiración y actividad enzimática son importantes en la preservación de la viabilidad (Mc Donald and Nelson, 1986).

El proceso de deterioro de la semilla modifica la actividad de algunas enzimas relacionadas con la degradación de las reservas alimenticias o biosíntesis del nuevo tejido; entre ellas se menciona la deshidrogenasa, ácido glutámico descarboxilasa, enzimas oxidasa como la catalasa, peroxidasa, fenolasa, amilasa y el citocromo oxidasa (Copeland y Mc Donald, 1985, Copeland, 1976).

La actividad de la deshidrogenasa, es usada como un índice para evaluar la viabilidad de la semilla.

Algunos autores, han señalado que el deterioro de las semillas está también asociado con la formación y activación de enzimas hidrolíticas como la lipasa, que en oleaginosas causa un incremento de los ácidos grasos libres, las fosfolipasas que dañan la estructura de la membrana al hidrolizar los fosfolípidos, la fosfatasa que convierte el ATP en ADP provocando una pérdida de energía, y las proteasas que degradan estructuras vitales y proteínas solubles de las membranas de organelos, nucleoproteínas, ribosomas y enzimas (López, 1994).

d) Cambios en las reservas alimenticias

Copeland (1976), señala que esta es una de las teorías más viejas, sin embargo, no ha sido muy escudriñada. Muchas semillas contienen alto contenido de material de reservas para muchos miles de años. Incluso 1,000 a 2,000 años semilla de trigo ha sido

encontrada en antiguas tumbas reteniendo mucho material de reserva; así antiguas semillas contienen grandes cantidades de reserva para el crecimiento y desarrollo. Se sabe que el proceso de degradación bioquímica en semillas secas son casi imperceptibles y pueden no acontecer disminución de reservas dentro del período de vida de muchas semillas.

Así mismo, Abdul-Baki y Anderson (1972), Duffus y Slaughter (1985), citados por López (1994), señalan lo siguiente:

La idea de que la pérdida de viabilidad, es resultado de la disminución de las reservas alimenticias, es cuestionada debido a que cuando las semillas pierden su capacidad para germinar, aún tienen una gran cantidad de esas reservas, como carbohidratos, proteínas y lípidos con cambios mínimos en sus contenidos. En general la hidrólisis de estos compuestos poliméricos, sucede en condiciones desfavorables de almacenamiento de alta humedad y temperatura. Así por ejemplo, se ha observado que el almidón, principal materia de reserva en la mayoría de las semillas, prácticamente no sufre cambios en las semillas deterioradas de ballico perenne y trébol rojo. También el trébol anual y ballico perenne, durante el almacenamiento, el contenido de azúcar y almidón decreció con el incremento de la humedad de la semilla y la temperatura de almacenamiento, sin embargo esta reducción es relativamente pequeña en comparación al total, por lo que no se puede considerar como la causa de la pérdida de viabilidad en esas semillas.

e) Desarrollo de ácidos grasos libres

Uno de los cambios asociados con el deterioro de las semillas en general y de las oleaginosas en particular, es el incremento de su acidez debido a: ácidos grasos libres, producidos por la acción de las lipasas sobre los lípidos; fosfatos ácidos, resultado de la hidrólisis de la fitina por la fitasa y aminoácidos producidos por la hidrólisis de las proteínas por las proteasas. De estos tres grupos, los primeros y grandes incrementos ocurren en los ácidos grasos libres. Durante el incremento de la acidez, hay una disminución de los lípidos totales, neutros y polares con el deterioro de la semilla, pero de estos cambios, los

fosfolípidos disminuyen más rápidamente y esto al parecer, se relaciona con el deterioro rápido a alta temperatura y humedad. Se puede concluir entonces que el envejecimiento rápido induce más daño a la membrana, que el envejecimiento lento, ya que los fosfolípidos son los lípidos polares predominantes en la membrana celular (Abdul-Baki y Anderson, 1972, citados por López, 1994).

Es este contexto además de los ácidos grasos libres, la acidez de las membranas de las semillas oleaginosas ha sido atribuida a causas como la luz, aire, alta temperatura, enzimas, microorganismos y la autoxidación por la fracción insaponificable en el aceite. Los triglicéridos contienen ácidos grasos insaturados, los cuales pueden sufrir oxidación en los enlaces dobles, catalizados por metales y enzimas, particularmente por la lipoxigenasa. La degradación oxidativa de los lípidos durante el almacenamiento es la principal causa del mal olor o sabor, de la destrucción de los ácidos grasos esenciales, de los constituyentes del sabor y el aroma de los pigmentos, de las vitaminas y posiblemente también de la toxicidad de los productos alimenticios.

Priestley y Leopold (1983), estudiando los cambios en los lípidos durante el envejecimiento de semilla de soya, encontraron que con envejecimiento natural durante 44 meses a 4°C y de 8 a 10% en el contenido de humedad, la viabilidad y el vigor se redujeron en forma marcada, lo cual fue asociado con la disminución en la proporción de ácidos grasos poliinsaturados; sin embargo, al someter las semillas a envejecimiento acelerado por varios días, la disminución de la viabilidad y el vigor fueron comparables, pero sin los cambios en los ácidos grasos poliinsaturados. Estos resultados indican que el envejecimiento acelerado puede causar pérdida del vigor de manera diferente al envejecimiento natural.

Probablemente la mayor relación del cambio de los lípidos con el deterioro de las semillas durante el almacenamiento es la autoxidación, por su reacción en cadena y por la producción de radicales libres que combinados con oxígeno producen hidroxiperóxidos, de donde se deriva el carbonil que combinado con proteínas inactivan enzimas, dañan a la membrana y desnaturalizan a las histonas y combinados con los ácidos nucleicos causan mutaciones cromosómicas. De este modo, la célula es destruida y si muere un número

suficiente en la zona meristemática, la semilla no podrá germinar (Harrington, 1972, 1973, citados por López, 1994).

f) Permeabilidad de las membranas

El plasma de la membrana constituye una membrana osmóticamente semipermeable, que encierra a la célula y controla el movimiento molecular dentro y fuera de la célula y también, probablemente, proporciona los mecanismos bioquímicos por los cuales los solutos como los iones pueden ser transportados o expulsados contra un gradiente. Esta característica es cierta únicamente en membranas vivas, ya que con el envejecimiento las células se hacen más permeables (Koostra, 1973; citado por López, 1994).

La conductividad eléctrica de una solución en la cual se introduce tejido de una planta, se incrementa cuando el tejido envejece. Este incremento se debe al aumento de la permeabilidad de la membrana del tejido semimuerto. Lo mismo sucede en las semillas en donde se ha observado que un síntoma del deterioro es el incremento en la cantidad de lixiviados cuando se introducen en agua, debido al aumento de la degradación de la membrana. El aumento de la conductividad eléctrica se mide por medio de la conductividad eléctrica de la solución (Copeland y Mc Donald, 1985).

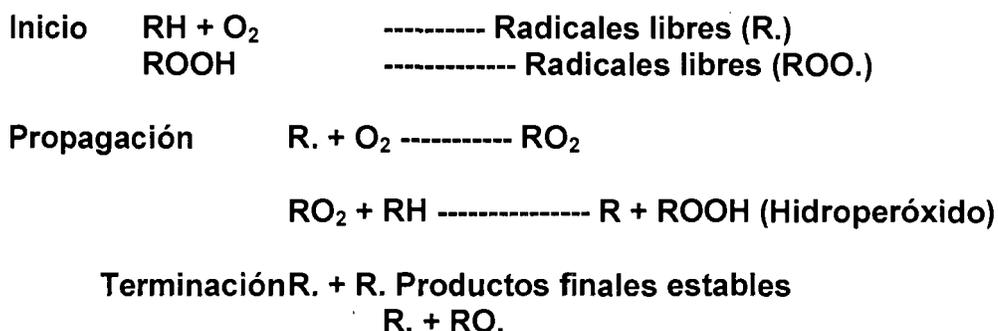
La pérdida de la integridad del plasmalema en semillas envejecidas se deduce del incremento de sustancias que se presentan en el medio de imbibición comparado con semillas no envejecidas. La pérdida de integridad se puede atribuir a los cambios deteriorativos sufridos por los fosfolípidos, principales componentes de las membranas (Bewley y Black, 1986; citados por López, 1994). Al respecto, Maguire (1962), menciona que los lípidos polares, considerados los mayores constituyentes grasos de las membranas, decrecen paralelamente a la germinación.

El probable mecanismo involucrado en el deterioro de la membrana es la producción de radicales libres, resultado de la **peroxidación de los lípidos** debido al

envejecimiento que destruye la estructura de la membrana. Está pérdida de la permeabilidad selectiva de la membrana asociada con la disminución del vigor y la germinación, se ha encontrado en maíz, soya, frijol, garbanzo, lenteja y mijo.

De acuerdo a Gómez (1992), Koostra y Harrington (citado por Wilson y Mc Donald, 1986), fueron los primeros en proponer la peroxidación de lípidos de las membranas como el mecanismo principal de la deterioración de las semillas.

El proceso de peroxidación de lípidos ocurre de la siguiente manera: en presencia de oxígeno las cadenas hidrocarbonadas de ácidos grasos se oxidan espontáneamente produciendo intermediarios de radicales libres altamente reactivos llamados hidroperóxidos y una amplia variedad de productos secundarios (aldehídos), de la descomposición de los hidroperóxidos. La velocidad de esta reacción aumenta por la acción de ciertas enzimas llamadas lipoxigenasas las que se encuentran en diferentes semillas, especialmente en soya. La secuencia de la reacción no mediada por enzimas (autooxidación) se muestra a continuación:



Desafortunadamente existe otro problema; los peróxidos pueden ser reducidos o parcialmente degradados y pueden experimentar más ciclos de peroxidación catalizados por el citocromo. La peroxidación de lípidos, puede afectar al organismo de tres maneras: primero, destrucción de los lípidos de la membrana, lo que conduce a un aumento de permeabilidad. Segundo, co-oxidación de los componentes celulares asociados por la transferencia de los radicales libres de los lípidos en oxidación. Tercero, formación de aldehídos citotóxicos, los que inhiben la síntesis de proteínas y ADN.

2.3 Calidad de Semilla

Se considera que una buena semilla para siembra debe reunir, cuando menos, las siguientes características: pureza genética, libre de semillas de malezas nocivas, un número máximo de semillas de otras especies, libre de patógenos transmisibles por la semilla, tamaño uniforme, libre de materias extrañas, con un 80% mínimo de germinación y tratada con fungicida para controlar patógenos transmisibles externamente por las semillas. Debe estar envasada convenientemente y llevar etiquetas de certificación de la calidad de la semilla (Miles, 1990; Rodríguez, 1990). Se ha demostrado que una semilla de buena calidad permite al agricultor obtener rendimientos significativamente mayores (Acosta y Ospina, 1979).

De esta manera, asegurar la calidad de las semillas se inicia con el proceso de detectar las fallas y defectos y resolver los problemas que se vayan presentando (Dávila, 1990).

2.3.1 Calidad fisiológica

La calidad fisiológica en semilla esta referida a la viabilidad, a una alta capacidad de germinación y de vigor para establecerse y producir nuevos individuos (Bustamante citado por Galeano, 1993). Todas las características referidas disminuyen gradualmente después de la madurez fisiológica, como resultado de las condiciones ambientales adversas a las cuales están expuestas, durante la cosecha y almacenamiento.

Dentro de los factores que afectan a la calidad fisiológica de las semillas son factores clasificados en internos y externos; en los internos sobresale la longevidad, viabilidad y vigor de la plantas progenitoras entre otros; en los externos influyen las condiciones ambientales principalmente, afectando el proceso germinativo como es el agua, temperatura y oxígeno Duffus y Slaughter, 1992; Moreira y Nakagawa, 1988).

Específicamente la germinación es un proceso biológico que consume energía proveniente de sustancias de reserva de la propia semilla, es decir que la germinación hace uso de energía proveniente de la respiración, ya que la semilla nunca deja de respirar, la secuencia del proceso germinativo es la hidratación y absorción de agua; hidratación de los tejidos; absorción de oxígeno; intensificación de las actividades enzimáticas y de digestión; inicio de la multiplicación y crecimiento celular; intensificación de la respiración y de la asimilación; intensificación de la multiplicación y crecimiento celular; diferenciación celular; aumento en el contenido de azúcares reductores y emergencia de la plántula (Moreira y Nakagawa, 1988). Dentro de los factores internos que afectan a la calidad de las semillas, el vigor está definido como la capacidad de que una semilla germine y se desarrolle en condiciones adversas en el campo, el punto crítico de la dificultad estriba en las condiciones adversas que no siempre son las mismas, así mismo entre los lotes de semillas de la misma especie y con la misma capacidad germinativa, lo que se hace con un ensayo de vigor es diferenciar entre aquello que actúa relativamente bien en condiciones pobres y los que actúan relativamente mal (Moreira y Nakagawa, 1988).

Entre las diversas metodologías para la medición de la calidad fisiológica de un lote de semilla y las más utilizadas por los analistas de semillas están:

a) La prueba de germinación estándar. La capacidad germinativa de un lote de semillas es un buen indicador de su poder para producir plántulas con buenas características en el campo (Tonking, 1988; Jiménez, 1990).

b) El vigor es otra característica que es consecuencia de la calidad fisiológica y que es importante para estimar el comportamiento de las semillas en el campo (Galeano, 1993).

El vigor de la semilla se ha relacionado con su tamaño y con su densidad (peso específico). Se señala que la expresión del vigor de la semilla está regulada por la constitución genética de las especies o variedad en cuestión, las condiciones en que se desarrolla la semilla y el ambiente, en que se hace germinar (Roberts y Ellis citados por Gutiérrez, 1988).

El patrón básico de germinación y crecimiento está determinado por las características genéticas de la especie, pero es afectado por el ambiente bajo el cual se desarrolla la semilla, se cosecha, almacena, etc. Por ello el vigor de un lote de semillas depende de la interacción de todos los aspectos involucrados. Plántulas con bajo vigor, son asociadas con baja germinabilidad (Copeland, 1977).

2.3.1.1 Definiciones de vigor

Aunque está relacionado con el poder germinativo, son dos conceptos distintos. Algunas veces las discrepancias del poder germinativo obtenido en el laboratorio y la nascencia en el campo, son debido a diferentes niveles de vigor, siendo este un fenómeno bastante frecuente, pudiendo variar dentro de la especie, de una variedad a otra, e incluso entre partidas diferentes de semillas de la misma variedad.

El "vigor" de las semillas agrícolas a sido por mucho tiempo tema de interés entre productores y usuarios, ya que si bien la calidad está principalmente determinada por la germinación y el establecimiento de las plántulas en el campo, éstas dependen en gran medida del vigor de la semilla, de ahí el interés de evaluar este parámetro mediante pruebas cuyos resultados estén altamente correlacionados con el comportamiento de las simientes en el campo (Moreno, 1996).

El Comité de Pruebas de Vigor de la ISTA, lo definió así: "El vigor es la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante su germinación y emergencia de la plántula. Las que se comportan bien se llaman semillas de alto vigor y las que se comportan pobremente son denominadas semillas de bajo vigor."

Esta definición engloba los procesos que han sido directamente relacionados con las diferencias en el vigor de las semillas:

- Procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación, tales como reacciones enzimáticas y actividad respiratoria.
- Velocidad y uniformidad de la emergencia de la plántula en el campo.
- Capacidad de emergencia de las plántulas bajo condiciones desfavorables del medio ambiente.

Entre las causas de la variabilidad del vigor de las semillas se citan las siguientes:

- Genotipo.
- Medio ambiente y nutrición de la planta.
- Estado de madurez en el momento de la cosecha.
- Tamaño, peso y peso volumétrico.
- Daño físico.
- Deterioro y envejecimiento.
- Patógenos.

Evaluar el vigor de la semilla es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas. Igualmente, es de valor para comparar el potencial biológico de lotes con porcentajes de germinación similares y también para tomar decisiones sobre el tiempo de almacenaje al que pueden ser sometidas las semillas, ya que se ha visto que el vigor y la longevidad están altamente correlacionados.

La Association Oficial of Seed Analysts (AOSA), que representa la escuela norteamericana en tecnología de semillas, en forma más escueta y más incidente considera que el vigor de las semillas "comprende todas aquellas propiedades que determinan su potencialidad para una emergencia rápida y uniforme, y para el desarrollo de plántulas normales bajo una amplia gama de condiciones".

El concepto vigor resume diferentes características de la semilla; esta cualidad sumamente compleja está determinada por muchos factores intrínsecos, entre los cuales se han reconocido los siguientes como los más importantes:

- **Constitución genética:** El genotipo de la semilla establece su máximo potencial fisiológico.
- **Condiciones ambientales y nutrición de la planta madre:** Estas influyen en el peso, tamaño y densidad de la semilla.
- **Estado de madurez de la cosecha:** Es en el estado de madurez fisiológica que la semilla alcanza la máxima expresión potencial de su vigor, que se manifiesta también en el tamaño, peso y densidad de la semilla.
- **Integridad física:** El vigor de las semillas es inversamente proporcional al grado de daño mecánico; las fisuras y daños en la capa seminal son puerta de entrada de agentes patógenos.
- **Deterioro y envejecimiento:** Desde el momento de alcanzar la madurez fisiológica las semillas empiezan a envejecer, aun permaneciendo en la planta madre. El deterioro sigue irreversiblemente hasta la muerte de todas las células. La tasa de deterioro, que incluye pérdida de vigor y por último de capacidad germinativa, está determinada por el genotipo, por las circunstancias que acompañan a la formación de la semilla y los factores externos involucrados en su manejo (cosecha y postcosecha).
- **Presencia de patógenos:** Pueden alojarse en el interior de las semillas, habiendo desarrollado en la planta madre o pueden ingresar a ellas después de su formación.

2.3.1.2 Pruebas de vigor

Los procedimientos utilizados en los ensayos de vigor se realizan con el fin de obtener una mayor correlación de los resultados obtenidos en el laboratorio con la implantación a campo de los diferentes cultivos.

Los parámetros que determinan la calidad de las semilla han puesto en evidencia que las características individuales de estas no necesariamente permiten que el comportamiento de cada una coincida con el de un lote entero.

La elaboración del concepto de vigor se ha basado en dos ideas fundamentales:

- Vigor “per se” de una semilla, en términos de velocidad de crecimiento y de tamaño de plántula alcanzado.
- Susceptibilidad a condiciones de siembra no favorables (Peretti, 1994).

2.3.1.2.1 Ensayos de vigor directos

Las pruebas de vigor directas reproducen en el laboratorio las condiciones a campo. Los factores de estrés que se suponen reducen la emergencia a campo son impuestos bajo condiciones controladas en el laboratorio.

Dentro de los ensayos de vigor directos está el Test de Hiltner: en el que las semillas son sometidas a un efecto de estrés hídrico y de resistencia mecánica a la emergencia. Otro de los ensayos directos también es el Ensayo de Frío (Cold Test) una de las primeras pruebas de vigor ensayados y uno de los más aceptados. Por medio de esta prueba la semilla es sometida a condiciones de estrés debido a la acción combinada de las bajas temperaturas y de patógenos.

2.3.1.2.2 Ensayos de vigor indirectos

En estos ensayos las características fisiológicas de las semillas, medidas en el laboratorio, son relacionadas con el comportamiento a campo.

- Ensayo de velocidad de germinación:

Lotes de semilla que muestran igual poder germinativo al final de un ensayo de germinación, a menudo presentan durante su transcurso un panorama heterogéneo de germinación y de desarrollo.

En una prueba de germinación estándar, la lectura final da cuenta de las plántulas normales desarrolladas y la lectura inicial informa sobre las semillas que más rápidamente han reanudado las actividades metabólicas y de crecimiento propias de la germinación.

Este dato puede ser interpretado como una expresión de vigor ("energía germinativa", "pique de semillas"). Ahora bien, la velocidad de germinación es un atributo más abarcativo, pues se calcula en función del número de semillas que germinan a lo largo de periodos determinados.

Uno de los primeros modelos de germinación aceptados en el cual la velocidad de germinación se calcula realizando recuentos de las plántulas normales, desarrolladas en sucesivos tiempos durante el ensayo de germinación estándar, y dividiendo el número de plántulas nuevas registradas en cada recuento por el número de días de ensayo correspondiente a ese recuento, desde la fecha de siembra.

Los valores obtenidos en cada recuento son sumados al final del test de germinación para calcular la Velocidad de Germinación (VG). Naturalmente, el número

total de semillas sembradas debe ser el mismo en todas las pruebas (4 * 100 ó 4 * 50 semillas): Esto se resume en las siguientes formulas:

$$VG = \frac{\text{n}^\circ \text{ de plántulas normales}}{\text{N}^\circ \text{ de días del 1}^\circ \text{ recuento}} + \frac{\text{n}^\circ \text{ de plántulas normales}}{\text{n}^\circ \text{ de días del 2}^\circ \text{ recuento}} + \dots$$
$$+ \frac{\text{n}^\circ \text{ de plántulas normales}}{\text{n}^\circ \text{ de días del recuento final}}$$

$$VG = \Sigma \left(\frac{n_i}{\Sigma t_i} \right)$$

Siendo :

n_i = número de plántulas normales registradas en el intervalo de tiempo t_i .

Σt_i = periodo desde la siembra hasta t_i .

(Maguire, 1962).

A mayor velocidad de germinación, mayor vigor.

Este dato se ha mostrado válido para la evaluación comparativa del vigor en diferentes cultivares, o distintos lotes dentro de los cultivares. Sin embargo cabe recordar que variaciones de humedad o de temperatura durante el procesamiento pueden afectar los resultados.

Por otra parte, al requerir observaciones frecuentes para establecer la relación germinación – tiempo, esta metodología no es operativamente fácil de aplicar a muchas poblaciones seminales .

Esta prueba y los análisis de crecimiento y evaluación de plántulas se basan en observaciones realizadas durante el procesamiento de la semilla bajo condiciones favorables, y admite las mismas críticas que se reservan al ensayo de germinación estándar. Los datos que aportan, amplían y complementan la información otorgada por otros ensayos de vigor que pueden predecir más consistentemente el comportamiento a campo de los lotes.

- Ensayo de crecimiento de plántulas

En este ensayo se mide la longitud de las plántulas como dato de velocidad de crecimiento. La emergencia rápida y uniforme es un atributo importante del vigor de las semillas. Por tanto, el análisis del desarrollo de los órganos aéreos y subterráneos de una plántula es un test de vigor lógico que permite evaluar la velocidad de crecimiento en la implantación del cultivo. Basado en mediciones de las plántulas desarrolladas al cabo de un periodo determinado.

- Evaluación de plántulas

La base del ensayo de evaluación de plántulas es que la calificación de éstas en " fuerte " y " débiles" provee una forma de discriminar plántulas totalmente libres de deficiencias, de aquellas con anomalías pequeñas que puedan reducir su calidad.

Para las pruebas se procesan 400 semillas en 8 repeticiones de 50. Las simientes se disponen entre papel germinador (2 capas de papel abajo y otras 2 capas arriba, para asegurar una adecuada humedad durante todo el ensayo), a 25°C , 8 horas de luz por día, durante 8 días..

Algunos analistas prefieren realizar una primera lectura al 5° día, removiendo las plántulas normales completamente desarrolladas, sanas y enteras que se anotarán en el grupo de alto vigor. Al 8° día se concluirá el ensayo, registrando: semillas duras, semillas muertas, plántulas normales, plántulas anormales. Las plántulas normales se distinguirán según el siguiente criterio:

Alto Vigor: Plántulas con todas sus partes morfológicamente completas, sin rupturas ni lesiones.

Bajo Vigor: Plántulas que pueden presentar:

- Raíz primaria ausente.

- Leve ruptura, fisura, necrosis o enrollamiento del hipocótilo.
- Un cotiledón ausente, o áreas necróticas en uno o ambos cotiledones.
- Necrosis parcial del epicótilo.
- Ausencia de una hoja primaria.
- Plántula ahilada pobremente desarrollada, o robusta y corta.

Habrá que realizar una observación minuciosa para no caer en una evaluación errónea de las plántulas, sobre todo cuando la infección por microorganismos puede afectar la manifestación de las características con que se discriminan las plántulas de vigor bajo y alto.

Este ensayo permite indagar sobre el vigor de un lote de semillas por medio de los procedimientos normales en un laboratorio de análisis, sin equipos ni trabajos adicionales. Moreno M. (1996)

2.4 Acción de hormonas y reguladores del crecimiento

El desarrollo del vegetal, tanto en el aspecto de mero crecimiento como en el de diferenciación de órganos, se encuentra regulado por la acción de sustancias químicas que activan o deprimen determinados procesos fisiológicos, intercalando entre sí.

Como se sabe el animal correlaciona sus actividades fisiológicas por la acción de dos sistemas: el hormonal y el nervioso que, en realidad, a menudo actúan de modo unitario, por lo que puede hablarse de un sistema de coordinación neuro-humoral. La planta carece de sistema nervioso, si bien esta falta no es tan absoluta, como pudiera creerse, pues hay cierta transmisión de impulsos por cambios en el potencial eléctrico; pero sin duda no puede hablarse de un sistema nerviosos vegetal. En cambio los vegetales si poseen un equipo de hormonas que actúan correlacionadas.

Fitorregulador

Es un compuesto químico capaz de intervenir en el metabolismo, que actúa en

muy pequeñas concentraciones para activar o deprimir algún proceso del desarrollo. Los fitorreguladores pueden ser naturales, si los produce la propia planta, o sintéticos.

Hormona

Es un fitorregulador natural que tiene acción en un lugar de la planta distinto de donde se produce; existen varios grupos de hormonas, el más conocido es el de las auxinas.

Cofactor

Es un fitorregulador natural con acción catalítica y reguladora en el metabolismo, pero cuya acción no es suficiente por sí misma para determinar fenómenos de desarrollo, sino que actúa a manera coenzima.

Inhibidor

Es un fitorregulador capaz de deprimir algún aspecto del desarrollo, sea actuando de manera independiente o bien contrarrestando la acción de una hormona, como por ejemplo una antiauxina. Los inhibidores pueden ser naturales o sintéticos.

Los fitorreguladores pueden ser endógenos, si se producen en la planta misma, o exógenos, si se aplican externamente. A menudo los fitorreguladores sintéticos pueden tanto estimular unos procesos como deprimir otros. Igualmente, algunas hormonas pueden ser estimulantes a bajas dosis pero inhibitorias a dosis altas.

2.4.1 Auxinas

Las auxinas son hormonas que tienen muchas acciones diversas en el desarrollo de la planta, que a veces son similares a las que presentan otras hormonas, por lo que son difíciles de caracterizar.

Es según Timan, una sustancia orgánica que promueve el crecimiento (aumento en volumen) a lo largo del eje longitudinal en concentraciones aproximadas de 10⁻³ m.

En las plantas se han identificado las siguientes auxinas naturales: indolacetaldehído (en plántulas etioladas), ácido indolpirúvico (IPA: en semillas de maíz, hojas y raíces.), indolacetonitrilo (en la col), indoletanol (en plántulas de pepino) y en forma de ácido indolacético (IAA), encontrado de manera general en todas las especies y del cual las otras auxinas se consideran derivadas o precursoras. La planta sintetiza el IAA a partir del aminoácido triptofano.

La acción fundamental de la auxina ha sido muy discutida. Las primeras hipótesis, durante la década de 1940-1950, buscaban la acción fundamental en base al efecto más destacado de la auxina: el alargamiento de la célula (aumento de la presión osmótica, de crecimiento de la resistencia de la pared celular. Posteriormente prevalecieron hipótesis que explicaban mejor la función general de la auxina por su acción sobre la respiración.

En la actualidad se piensa que la auxina actúa sobre el DNA, teoría que toma base en diversos hechos experimentales, pero cuyo determinismo no está dilucidado.

La auxina es sintetizada por la planta en las células del meristemo apical del talluelo, tallo y ramas en las yemas ramales o foliares cuando están en desarrollo. De estas regiones meristemáticas es transportada de forma basipétala por difusión a través de las células en plántulas al principio de su desarrollo o por el floema en plantas ya desarrolladas.

La auxina se encuentra en la planta en dos formas: una llamada auxina libre o difusible, que escapa del ápice del talluelo o coleóptilo cuando estos tejidos son puestos en agar; y otra llamada auxina ligada o no difusible, que sólo se puede extraer con éter.

Los efectos de la auxina son múltiples. Es típica su acción inductora del alargamiento de las células a bajas concentraciones, que se causa cuando distribuye desigualmente crecimiento anormal, dando malformaciones en hojas y tallos o crecimiento en una dirección determinada pues si las células de un lado del tallo se alargan más que el otro el tallo cambia la dirección de su crecimiento. A altas concentraciones deprime el alargamiento.

La auxina a bajas concentraciones produce una aceleración en la respiración que repercute en un intenso metabolismo. Concentraciones que pasan del óptimo deprimen este proceso.

Las auxinas son el grupo hormonal mejor conocido. Aunque aún no se sepa su acción fundamental, se sabe suficiente sobre su estructura necesaria para que sean activadas, y sobre sus efectos metabólicos, para que puedan sintetizarse diversas moléculas auxínicas que se usan ampliamente en la agricultura. Cada auxina sintética particular tiene una acción preferente sobre algún aspecto del desarrollo.

2.4.2 Giberélinas

Las giberelinas son fitohormonas que fueron al principio aisladas de un hongo *Gibberella fujikuroi*, pero hoy se sabe que forman parte del equipo regulador del desarrollo de las plantas superiores. Se han identificado nueve compuesto del mismo tipo general, que se designan con el nombre genérico de giberéлина y se denominan trivialmente GA1, GA2 y así hasta el 9. el ácido giberélico es el GA3. ninguna planta tiene las nueve giberélinas, pero toda planta, gimno o angiosperma tiene una o varias de ellas (Garcidueñas, (1990) y Bidwel, (1979).

Las giberélinas son compuestos isoprenoides, que se supone fundadamente proceden del ácido mevalónico. Las giberélinas parecen sintetizarse en muchas partes de la planta, pero más especialmente en las áreas de activo crecimiento, como los embriones, los tejidos meristemáticos o en desarrollo. Se transporta con facilidad en la planta moviéndose aparentemente en forma pasiva con la corriente de transporte por el

floema o por el xilema. Una parte considerable de las giberélinas de la planta puede encontrarse ligada o compartimentada e inactiva en un momento dado. La rápida producción de giberélinas que ocurre en semilla en germinación es, probablemente, una liberación de giberélinas ligadas y que fue sintetizada mucho antes, quizá durante el periodo de frío que a menudo necesitan las semillas para germinar, o poco después. Su síntesis está autocontrolada por retroacción, inhibiendo la giberélinas la oxidación del kaureno (Bidwel, 1990).

Por un tiempo se sostuvo la idea de que la giberélinas actuaba en alguna forma sobre la fotosíntesis. Otra hipótesis suponía que la giberélinas podría alterar el contenido auxínico de los tejidos, al actuar a través de la auxina, pero nunca fue posible sustituir los efectos de una hormona por acción de la otra. Experimentalmente se ha comprobado que en ausencia de giberélinas, las reservas amiláceas del embrión no se hidrolizan, y es bien comprensible la diferencia que para el desarrollo tendrá el que las reservas energéticas queden sin poder oxidarse o pasen a forma activa, fácilmente oxidable.

Las giberélinas son compuestos muy estables y de rápida distribución por el floema, junto con otros compuestos del fotosintetizado. Son sintetizadas en el ápice del tallo y hojas jóvenes, moviéndose en forma basipétala, pero pueden transportarse hacia el ápice. Hay evidencias de que también son sintetizadas en la raíz, al menos en algunas plantas, pues están presentes en la savia que lloran las plantas cuyo tallo es cortado (Garcidueñas, 1979).

2.4.2.1 Mecanismo de acción

Las giberélinas están estrechamente relacionadas con los esteroides, muchos de los cuales tienen fuertes efectos hormonales. De hecho las giberélinas poseen efecto similar a las de la ecdisona en los insectos (ecdisona es la hormona de la muda en los insectos). Los extractos de insecto, pero no de la propia ecdisona, tienen débiles efectos, parecidos a los de la giberélinas en las plantas. Los esteroides tienen efectos muy específicos en la desrepresión de genes activando así enzimas específicas.

Parece por lo tanto posible que las giberélinas actúen de modo muy similar en las plantas. Sabemos que actúan en la desrepresión génica y estimulando la síntesis de RNA. Parece probable que estén ligadas a los sitios de reacción por fuerzas débiles de manera similar a las auxinas (Bidwel,1990).

Los efectos de las giberélinas son de diversa índole. Dos son típicos, uno es inducir la producción de la amilasa, que pone la energía a disposición de la célula; otro es la acción sobre el enanismo, al producir un crecimiento normal de plantas genéticamente enanas e incluso de especies cuyo natural desarrollo del tallo hace que nunca pasen del estado de roseta, como la col, pues el tratamiento con giberélinas alarga los entrenudo y rompe su habito de roseta. Estos efectos no los presenta la auxina (Garcidueñas,1979).

Bidwel (1990), menciona que el GA (ácido giberélico) produce en el alargamiento de las células y del tallo un efecto similar al del IAA (Acido Indol Acético) pero no idéntico. Aquel actúa en muchos tejidos en los que el IAA es inefectivo o inhibitorio y viceversa. En algunos tejidos si se aplica primero el IAA, el GA tiene un efecto pobre, pero si el GA se aplica primero, el IAA tiene un efecto estimulante de alargamiento mayor de lo normal. Esto sugiere que la acción de la giberéлина ocurre en algún sitio que precede a la acción de la auxina en la secuencia de reacciones que llevan a la estimulación de reacciones por alargamiento. Dado que por lo menos algunos de los efectos del IAA tienen que ver con la síntesis de proteínas, el GA podría actuar a nivel de la inducción enzimática o de la transcripción del DNA. Lang ha demostrado que el GA estimula la división celular en el ápice del tallo así como el alargamiento del tallo, sin embargo este puede ser un efecto subsidiario; el efecto sobre el alargamiento celular es el principal. El metabolismo de los ácidos nucleicos está involucrado claramente; el GA acelera la síntesis de RNA. De hecho el GA aumenta la síntesis de RNA en los núcleos aislados.

Otros efectos importantes muestran que hay interacción de la giberéлина con el fitocromo, pues el tratamiento con giberéлина provoca en ocasiones la germinación de semillas y yemas rompiendo el letargo, y la floración de especies de días largos en días

cortos, este último efecto no lo presentan las auxinas (Garcidueñas,1979).

Uno de los efectos más dramáticos del GA es la inducción de enzimas hidrolíticas en el endospermo de semillas de avena en germinación. El tratamiento con GA induce la formación de nuevas enzimas y estimula también una notable síntesis de RNAm . Así el GA actúa en la desrepresión de genes específicos que luego provocan la síntesis de nuevas encimas. Se supone, pero no está probado que el GA actúa sobre el DNA.

Se conocen otras enzimas que son afectadas por el GA en situaciones muy diferentes. Recientemente se ha demostrado que el retículo endoplásmico en las células de aneurona en la cebada se estimula de cuatro a ocho veces por adición de GA3. Glasziou ha demostrado que el GA3 causa un incremento en la síntesis de invertasa (pero no en la peroxidasa) exactamente de la misma manera que el IAA. Estos resultado señalan una amplia variedad de efectos de las giberélinas en la inducción de síntesis de enzimas y otros pasos del desarrollo (Bidwell,1990).

Las giberélinas actúan sobre la floración también induciendo partenocarpia y buen desarrollo del fruto, cuando las plantas no tratadas fallan en fructificar también tienen efecto en la sexualidad, aumentando el porcentaje de flores masculinas (Garcidueñas,1979).

Al respecto Bidwell (1990), señala que el GA aplicado a muchas plantas de roseta invernal que no han sufrido su termoperíodo las induce a formar el tallo florar y al subsecuente inicio de la floración. Aún no está claro si esta es una verdadera actividad florigénica; Chailaján ha sugerido que el GA es una de las dos principales hormonas que constituyen el florigén. Pero el efecto del termoperíodo no es igual al del GA; con éste la iniciación de las flores ocurre después del crecimiento por alargamiento y no antes, como es el caso cuando sufre termoperíodo.

Otro interesante efecto de la giberéлина es que se sobrepone a la juventud en los árboles jóvenes y les induce a florecer años antes de lo que tardarían normalmente en

alcanzar la madurez. Este fenómeno que ha sido ampliamente investigado por el fisiólogo canadiense R. P. Pharis, ha sido extremadamente útil en la hibridación de árboles al acortar muchísimo el curso de las generaciones en ciertas especies forestales.

La acción de las giberélinas es reprimida por un inhibidor natural, la abscisina, y por algunos productos sintéticos como el Cloromequat (cloruro de clorocolina), Phosfon y Amo118 (Garcidueñas, 1979).

Se conocen varios compuestos sintéticos que impiden su acción entre los que se incluyen los inhibidores de crecimiento **AMO – 1618**, **CCC*** y **fosfón – D**. Estos productos parecen actuar primariamente inhibiendo la síntesis de ácido giberélico (GA) así como en otras formas. Se conoce poco sobre la inactivación natural de las giberélinas. El ácido abscísico (ABA) antagoniza los efectos del GA y las dos sustancias tienen posiblemente un precursor común (Bidwell, 1990).

2.4.3 Las Citocininas

Las citocininas forman el grupo de hormonas naturales descubierto más recientemente y, por tanto, el menos conocido en su acción y efectos. Son hormonas cuya acción típica es activar la división celular y retardar la senescencia de los órganos. Se trata de derivados de la adenina, algunos de los cuales se han encontrado en forma natural en las plantas y otras moléculas son sintéticas (Garcidueñas, 1979).

El descubrimiento de las citocininas parte de la observación de que los compuestos que contienen adenina pueden modificar la expresión del desarrollo. Esto llevó al descubrimiento de la 6-furfurilaminopurina o cinetina, por F. Skoog y C. O. Miller en un hidrolizado de DNA de esperma de arenque. Todas las citocininas, tanto naturales como sintéticas, son derivados de la adenina. Esta relación química de las citocininas con una purina natural que existe en el DNA y RNA causó gran excitación entre los bioquímicos y fitofisiólogos.

La citosina no se mueve en la planta con tanta facilidad como las giberélinas y la auxinas, sin embargo hay evidencia de que se forman en las raíces y se transportan a las hojas y tallo. La hormona parece transportarse por el xilema. Hay cierta evidencia de que la citocinina se mueve hacia la fuente de auxina al igual que otros nutrientes y el carbono fijado en la fotosíntesis. Sin embargo debe notarse que en muchos experimentos han demostrado que cuando la citocinina se aplica a una hoja o a un tejido, no se mueve sino que permanece donde se aplicó.

Entre los efectos de la citocinina están la formación de órganos en los tejidos cultivados in vitro, el alargamiento y la división celular, la prevención de la senescencia y la inducción de la floración bajo ciertas circunstancias.

La interacción de auxinas y citocininas tiene también otros efectos. El IAA induce el alargamiento de los entrenudos del tallo de chícharos; la adición de citocinina no inhibe el alargamiento celular pero induce el alargamiento a uno y a otro lado más que a lo largo del eje longitudinal. También es conocido el alargamiento de las células maduras bajo su influencia.

Debe mencionarse otro efecto de la citocinina. El IAA puede estimular la floración en unas pocas plantas, de manera notable en la piña, el GA induce floración en las plantas de días largos que no han sufrido termoperíodo. De similar se conoce unos pocos ejemplos en las que las citocininas pueden inducir la floración en plantas de días cortos .

La efectividad de las citocininas para prevenir la senescencia cuando se aplican a hojas cortadas o a discos de hojas se descubrió desde hace tiempo y ha sido la base para varios bioensayos. Se sabe que previene la formación de enzimas hidrolíticas como nucleasas y proteasas así que interfieren con la desintegración de los polímeros. Esto previene los cambios de degradación que se cuentan entre las principales características de la senescencia.

Las auxinas, giberélinas y citocininas son los grupos de hormonas conocidas como presentes en general en las plantas superiores en vida normal.

2.4.4 Calcio

Calcio, de símbolo Ca, es un elemento metálico, reactivo y blanco plateado. Pertenece al grupo 2 (o IIA) del sistema periódico, y es uno de los metales alcalinotérreos. Su número atómico es 20 (Biblioteca Encarta, 2003).

2.4.4.1 Propiedades y estado natural

El calcio tiene seis isótopos estables y varios radiactivos. Metal maleable y dúctil, amarillea rápidamente al contacto con el aire. Tiene un punto de fusión de 839 °C, un punto de ebullición de 1.484 °C y una densidad de 1,54 g/cm³; su masa atómica es 40,08.

El calcio ocupa el quinto lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre, pero no se encuentra en estado puro en la naturaleza. Se da en varios compuestos muy útiles, tales como el carbonato de calcio (CaCO₃), del que están formados la calcita, el mármol, la piedra caliza y la marga; el sulfato de calcio (CaSO₄), presente en el alabastro o el yeso; el fluoruro de calcio (CaF₂), en la fluorita; el fosfato de calcio o roca de fosfato (Ca₃(PO₄)₂), y varios silicatos. En aire frío y seco, el calcio no es fácilmente atacado por el oxígeno, pero al calentarse, reacciona fácilmente con los halógenos, el oxígeno, el azufre, el fósforo, el hidrógeno y el nitrógeno. El calcio reacciona violentamente con el agua, formando el hidróxido Ca(OH)₂ y liberando hidrógeno.

- Aplicaciones

El metal se obtiene sobre todo por la electrólisis del cloruro de calcio fundido, un proceso caro. Hasta hace poco, el metal puro se utilizaba escasamente en la industria.

Se está utilizando en mayor proporción como desoxidante para cobre, níquel y acero inoxidable. Puesto que el calcio endurece el plomo cuando está aleado con él, las aleaciones de calcio son excelentes para cojinetes, superiores a la aleación antimonio-plomo utilizada en la rejillas de los acumuladores, y más duraderas como revestimiento en el cable cubierto con plomo. El calcio, combinado químicamente, está presente en la cal (hidróxido de calcio), el cemento y el mortero, en los dientes y los huesos (como hidroxifosfato de calcio), y en numerosos fluidos corporales (como componente de complejos proteínicos) esenciales para la contracción muscular, la transmisión de los impulsos nerviosos y la coagulación de la sangre (Biblioteca Encarta, 2003).

2.5 Inhibidores del Desarrollo Vegetal

Muchos fenómenos que ocurren en el desarrollo del vegetal son demasiado complejos para que puedan explicarse solamente por la presencia o ausencia de sustancias estimulantes u hormonas. Según Leopold la supervivencia de la planta depende de su capacidad para entrar en letargo o restringir su actividad de desarrollo o reproducción.

La abscisina, antes también llamada dormina, es el ácido metil (hidroxi-oxo) trimetil-2-pentadienoico, y hoy se denomina, ácido abscísico o ABA.

El ABA es un isoprenoide que la planta sintetiza a partir del ácido mevalónico. Su acción fundamental es discutida; algunos autores suponen que actúa inhibiendo el efecto del ácido giberélico, y de hecho muchos experimentos parecen indicar una contraposición en los efectos que induce el ABA y el GA.

Los efectos principales que provoca el ABA son una aceleración en la pérdida de la clorofila, turgencia de los parénquimas y aparición en la hoja de pigmentos de senescencia, prolonga el letargo de la semilla de lechuga y varios pastos. En algunas especies interactúa con el fotoperíodo y hace florecer a las plantas fuera del periodo de luz indicado. En general actúa como antigiberélico, revierte algunos efectos del IAA y

algunas de la citocinina.

Las plantas presentan otros inhibidores, los cuales en conjunto se denominan inhibidores fenólicos, los cuales como grupo, presentan características que los separa de la abscisina. Los inhibidores tienen una participación activa en el metabolismo y su acción no es específica sobre ninguna hormona sino en general sobre el proceso, y son parte del equipo fitoregulator necesario. Bidwel (1990).

2.6 Revigorización de Semilla

La revigorización de semillas puede llevarse a cabo, por medio de tratamientos con productos químicos y tratamientos físicos.

Muchos tratamientos que se utilizan para la revigorización de semillas deterioradas o viejas (o prevenir la deterioración de semillas frescas en almacenamiento) han producido probablemente sus efectos para reducir la invasión de hongos: fungicidas convencionales son beneficiosos en el mejoramiento de semillas viejas. La revigorización de semillas por medio de soluciones de enzimas. Así también, el uso de nitratos ha sido recomendado para este fin. Como lo cita Priestley (1986): Retovsky (1934) estimuló la edad de semillas de cebada con nitrato úrico ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$), y Chakraverty (1975), encontró que Nitrato de Potasio (KNO_3) o thiourea promueven la germinación de semilla deterioradas de yute. Así mismo, Harty et al. (1983), investigó aplicaciones de KNO_3 en semillas de Panicum maximun (un tratamiento diseñado para romper la latencia de semillas), encontró que la germinación de semilla vieja fue depresiva.

En lo referente al uso de soluciones de reguladores de crecimiento, Khan (1980), menciona que se han conducido para determinar si las semillas con aplicación apropiada de vía solventes orgánicos toleran o resisten efectos adversos de factores físicos y bióticos durante el establecimiento de plántulas en el suelo bajo condiciones simuladas de campo. El uso de reguladores de crecimiento imparten protección al deterioro en particulares medios ambientes.

En la reinvigorización bioquímica, con la aplicación de reconocidas hormonas de plantas (Priestley, 1986; Mayer and Mayber, 1989). Entre los más comunes empleados están las citoninas y giberélinas, a las cuales se les atribuye efectos positivos sobre la germinación. Ejemplos de ellas son la cinetina (6-furfurilaminopurina), benciladenina (6-bencilaminopurina) y el ácido giberélico 3 (AG3).

Mayer y Mayber (1989). Un número de especies de plantas quienes la germinación no es afectada por la luz, se ha mostrado la promoción por giberélinas. La sensibilidad de las semillas a las aplicaciones de giberélinas depende del tiempo de cosecha. Aunque los efectos del ácido giberélico parece ser similar al efecto de la luz, es mucho más efectivo que la luz roja al inverso de la alta temperatura de imbibición de la germinación en lechuga. Así 100 ppm de ácido gibérelco estimula la germinación en semillas de lechuga a 30°C, de 2% en agua a 33%. Las giberélinas pueden también revertir la imbibición de la germinación causada por alta presión osmótica. Se ha mostrado que en lechuga se obtienen hasta el 82% de germinación en oscuridad, en agua da solo 22% de germinación en 0.15 M de manitol. Como quiera, adicionando 35 ppm de ácido giberélico a el manitol resulta una germinación del 61%. También el ácido giberélico puede ser importante en la determinación de la germinación de muchas otras especies.

Por otro lado, de acuerdo a Copeland, (1976), un fuerte caso ha sido hecho para la descomposición de varios mecanismos disparadores como una causa de la deterioración de semillas. Hay evidencias sobre el rol de las giberélinas y citoquininas en el disparador enzimática, para inducir la germinación. Fuertes evidencias para esta teoría es el mejoramiento de la germinación en semillas viejas después de exponerse a crecimiento en hormonas. Por ejemplo, la exposición de semillas viejas al etileno, las hacen capaces de producir plántulas normales. Se ha comprobado que el ácido gibérelco también mejora la germinación y vigor de semillas de cebolla y apio.

2.6.1 Osmoacondicionamiento de semillas.

Khan (1980). Las semillas son expuestas a cambios y muchas veces a cambios de ambiente adversos en el suelo, por un período considerablemente grande, iniciando con la siembra y concluyendo con la germinación. El período de imbibición es extremadamente sensible a cambios en el ambiente e insignificante y repentinos cambios aparecen para afectar profundamente la emergencia de plántulas.

Por lo tanto, numerosos esfuerzos han sido dirigidos para lograr incrementar en período entre siembra y emergencia, sobre la suposición de que la germinación rápida o emergencia rápido dará respuesta al "sufrimiento" de la semilla a la prolongada exposición en ambientes hostiles durante la imbibición y establecimiento de plántulas, y así lograr mejoras los estándares de producción.

Por lo que Khan (1980), cita algunos autores y trabajos respectivos:

Heydecker (1973/74) ha recopilado algunos estudios recientes sobre el preacondicionamiento fisiológicamente de varios tipos por diferentes medios. Estás incluyen sujetar las semillas a ciclos de humedecimiento y secado, algunas veces referido al "endurecimiento" o "adelanto" de incubación húmeda a bajas temperaturas, tratamientos osmóticos con diluciones de sal diluida, tales como Nitrato de Potasio y Fosfato de Potasio, Cloruro de Sodio, o remojando en Glicol Polietileno (Carbowax o PEG). Otro tratamiento con el mismo objetivo es el "Fluido repetido " el cual incluye germinación de semillas, mezcla de semillas con emergencia de radículas, con un portador de material tal como, gel alginato, y entonces se transplanta directamente en el suelo por medio de un equipo de fluido repetido (Currah and Thomas, 1974).

Muchos de estos pretratamientos han comprobado su efectividad en varios grados en la reducción del tiempo entre siembra y emergencia.

Desafortunadamente estos estudios no se han diseñado para simular las condiciones de campo.

De todos estos métodos el tratamiento osmótico, incluyendo el PEG parece ser más promisorio. El método consiste en remojar semillas en soluciones de Glicol de Polietileno (PEG), en un compuesto inerte de peso molecular alto. La concentración del PEG es ajustada a un nivel bastante alto para inhibir la germinación. después de 2 a 3 semanas a temperaturas de 10 a 15°C las semillas son lavadas, secadas y sembradas.

Se han reportado con este método resultados altamente significativos en semillas de hortalizas y flores. Por lo que el mayor provecho del osmoacondicionamiento fisiológicamente es la rápida germinación y plántulas sin efectos adversos.

Sin embargo, no se han conducido muchos estudios sobre las bases bioquímicas fundamentales a los procesos que afectan como resultado del tratamiento osmótico de semillas. Koehler (1967), fue el primero en demostrar un incremento en la tasa respiratoria y un incremento en los niveles de proteínas y RNA en semillas de tomate como resultado del tratamiento.

Estudios han demostrado que la tasa de (3H) incorporación de Uridine dentro de RNA de semillas de lechuga es aumentada como resultado de mayor importancia.

El incremento en la síntesis de proteínas en semillas primeramente resulta de un incremento de la capacidad para sintetizar RNA mensajero y del incremento de la activación de la maquinaria ribosomal.

2.6.1.1 humedecimiento-secado.

Muchas semillas de plantas silvestres están adaptadas a persistir en el suelo por años o décadas, y por mucho tiempo son presumiblemente hidratadas.

En el estado imbibido, la dormancia deber ser ciertamente mantenida para la persistencia de la semilla, pero esto parece probable que algunos factores extras trabajan para ayudar a sustentar la viabilidad. Para la perspectiva de Darwin " el poder de las semillas de retener su viabilidad cuando son sumergidas en suelo húmedo puede ser un

elemento de preservación de las especies y por lo tanto, las semillas pueden ser dotadas con esta capacidad. En recientes años se ha llegado a incrementar evidentemente que parte de esta especial dote consiste de una habilidad para la reparación celular y mantenimiento (Villier, 1973; citado por Priestley, 1986).

Priestley (1986), cita lo siguiente: Como ejemplo se tiene que cuando las semillas de lechuga son sostenidas en un estado imbibido a 30°C, las semillas llegar a la termodormancia y no germinan. Usando un rango de condiciones de almacenamiento, Toole and Toole (1953b) fueron capaces de demostrar que aunque se incremente la temperatura y humedad normalmente acelera la deterioración de semilla de lechuga (Toole et al., 1948), termodormancia de semillas es excepcional en que ellas pierden viabilidad rápida más lentamente que la tendencia usual predice. Esto ha sido desde entonces establecido que dormancia inhibida de semillas poseen un alto desarrollo del metabolismo. Por ejemplo, la respiración es evidente (Powel et al., 1983), lípidos de membrana y proteínas son sujetas a cambios (Cuming y Osborne, 1978a, 1978b), el RNA es sintetizado (Hecker y Bernhardt, 1976), y se presentan activos polisomas (Fountain y Bewley, 1973), Esto es presumiblemente la existencia de tales funciones metabólicas en la hidratación de semillas que permite reparaciones extensivamente en la célula.

Recientes estudios sobre lechuga han mostrado que la longevidad es promovida cuando los contenidos de agua se incrementa arriba de 15 a 20% (Ibrahin y Roberts, 1983), y que esta extensión en viabilidad es estrictamente dependiente sobre la disposición de oxígeno (Ibrahim et al., 1983). Un incremento en hidratación de semillas de cebolla arriba de 15% tiene similares efectos sobre la longevidad (Ward y Powell, 1983). En adición, Villiers (1974,1975) demostró que el almacenamiento de lechuga en condiciones de dormancia embebida reduce aberraciones cromosómicas. Más sin embargo, si las semillas de lechuga son sujetas ocasionalmente a breves intervalos de humedecimiento-secado durante el almacenamiento convencional seco, la usual edad induce acumulación de heridas cromosomal, la cual es grandemente eliminada.

A pesar de esta capacidad para el mantenimiento y reparación de semillas, eventualmente muestran de la vejes después de un período prolongado de

almacenamiento en estado hidratado. Así, en Europa cenizas de semillas (*Fraxinus excelsior*), aberraciones ultraestructurales gradualmente llegan a aparecer (Villier, 1972); en forma particular las mitocondrias swollen, y el núcleo muestra lóbulos. Semillas de Arce Noruego Dormante (*acerplatanoides*) almacenado en un estado imbibido muestra incremento de escape de electrólitos como progreso del envejecimiento y pérdida de viabilidad (Pukackja, 1983), y esto es posible que la pérdida de reservas nutritivas sobre muchos años pueda limitar la viabilidad de muchas especies (Powell et al., 1983).

Es probable, que muchas semillas en las primeras horas de imbibición son marcadas por la activación de procesos de reparación celular que gradualmente eliminan las lesiones adquiridas en almacenamiento seco.

Algunas formas de adelantamiento del metabolismo es a través de tomar lugar sobre la hidratación y ser retenida incluso después de la rehidratación. Esto es probable que cuando el proceso de humedecimiento y secado son aplicados a semillas parcialmente deterioradas, la reparación celular llega a ser posible durante el breve tratamiento imbibicional; el metabolismo puede ser significativo.

Si tales semillas son regresadas al almacenamiento, su longevidad se extiende; si en vez de esto son inmediatamente germinadas, su vigor aparentemente es incrementado. Algunos trabajos consideran que el beneficio notado quizás surja estrictamente física que la interacción metabólica; las semillas demandan humedecimiento-secado aplicado a semillas parcialmente deterioradas son efectivas porque se dispersan el debilitamiento de radicales libres.

De acuerdo a estudios realizados por Sen y Osborne (1974), citados por Khan, (1980), sobre los efectos de hidratación y deshidratación de embriones de centeno, mostró que los embriones pueden ser secados siguiendo hidratación por arriba de 3 a 6 horas entre efectos adversos. La tasa de DNA, RNA y síntesis de proteínas en el embrión secado fueron aumentadas con tal tratamiento.

Priestley (1986). Como la reinvigorización de semillas viejas por medio de tratamientos de humedecimiento secado ha sido definido usualmente en términos de tasa de aumento de emergencia de radícula, esto no es completamente claro si las semillas han sido realmente invigorizadas a través de la reparación de lesiones celulares o si son avances meramente metabólicos en comparación con el de control de material sin tratamiento.

La experiencia general con tratamientos ha sido que el vigor de semillas viejas o más precisamente, su tasa de germinación puede ser acelerada. Sánchez y Miguel (1983), argumentan que la hidratación para reparar procesos puede restarle viabilidad a la edad de los embriones de Datura ferox. Sin embargo numerosos estudios han sugerido que el tratamiento de humedecimiento secado puede promover la longevidad de la semilla. Una importante pero pobre consideración explorada es que los procesos de reparación que normalmente operan durante la hidratación presumiblemente ellos mismos lleguen a sujetarse al incremento ineficiente con la edad. Tal incapacidad puede ser responsable por el incremento de la radiosensitividad de la edad de semillas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del Experimento

El trabajo fue realizado en el Laboratorio de Análisis de Semillas e invernadero del Centro de Investigaciones en Producción de Semillas perteneciente al Departamento de Producción Agrícola del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara.

3.2 Material Genético.

Se utilizó semilla del híbrido UDG-600 ciclo O.I. 98/99 el cual presentaba un 75 % de germinación y bajo vigor.

3.3 Materiales y Equipo Utilizado

1. Estufa germinadora a temperatura constante de 25°C
2. Papel germinador
3. Agua no purificada (agua corriente)
4. Agua purificada de la marca viva
5. Cama de arena para siembra de 1 x 2 m.
6. Determinador de humedad electrónico Stanlite.
7. Reactivos:

Calcidef : comprimidos de: Lactato gluconato de calcio 2.94 g ,carbonato de calcio 0.30 g. Equivalente a 500 mg. de calcio ionizable.

Maxi-Grow :gr/l=auxinas 0.09,giberélinas 0.10,citoquininas 1.5, N 6.6, P 13.3,K 13.3,Ca 2.0,Mg 4.0,Fe 17.2,Zn 26.5,Mn 13.3 Y Cu 13.3.

Calcio fem : Calcio 600 mg, Vit. A 749.51 mcg, vit. D2 10 mcg

Activol: Ag3 de 10 g

Gibgro: Ag3 de 10 g

Gibiotin : Ag3 de 10 g

Biozyme : Giberelinas 77.4 ppm, AIA 33ppm, zeatina 128.7 ppm, caldo del extracto 79.10% materia orgánica del extracto 0.74%.

3.4 Metodología

3.4.1 Procedimiento

La presente investigación se desarrollo en dos fases:

1ra. Fase: Humedecimiento-secado, incorporando los factores tipo de agua y tiempo de imbibición.

2da. Fase: Humedecimiento-secado, con los factores productos químicos + dosis y tiempo de imbibición.

3.4.1.1 1ra. Fase de humedecimiento-secado.

Se tomaron 205g de muestra por cada tratamiento; agregándole 250ml de agua no purificada y purificada a cada tratamiento. La semilla fue sometida a nueve tiempos de imbibición 2,4,6,8,12,18,24,36 y 40 hrs para ambos tipos de agua respectivamente, más un testigo sin imbibir. Posteriormente fueron secadas en el laboratorio de semillas

a temperatura ambiente y sobre un papel germinador por 5 días, para después ser sembradas tanto en cámaras de germinación como en semilleros.

Antes y después del periodo de imbibición, así como después del secado de la semilla se tomaron los siguientes datos:

1. Contenido de humedad inicial: se utilizó el determinador de humedad electrónico marca Stanlite.

2. Contenido de humedad después período de imbibición utilizando la fórmula siguiente: $\% H = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$

Donde: %H = Porcentaje de humedad

P_i = Peso inicial de la semilla

P_f = Pesos final después del periodo de imbibición.

3. Determinación del contenido de humedad después de secada la semilla con la utilización del Stanlite.

Las variables a medir fueron:

1. Germinación estándar: Se sembraron 4 repeticiones de 50 semillas tanto de semilla imbibida como secada mas el testigo. La cámara de germinación se mantuvo a 25°C. Se evaluaron plántulas normales, plántulas anormales y semillas muertas.

2. Velocidad de emergencia: Utilizando un bastidor de 1 x 2 m. y como sustrato tierra de los campos de cultivos aledaños, se sembró la semilla sometida al proceso de secado en 2 repeticiones de 50 semillas cada una más el testigo. Se tomaron datos del número de semillas germinadas al día x tratamiento/parcela durante 15 días y los cálculos de velocidad de emergencia se hicieron de acuerdo a la metodología propuesta por Maguire, 1962.

3.4.1.1.1 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con 2 repeticiones en un arreglo de parcelas divididas en donde la parcela A correspondió al tiempo de imbibición y la parcela B a los tipos de agua.

Como prueba comparativa de medias se utilizó la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 95% de probabilidad.

En la variable porcentaje de germinación los datos obtenidos se transformaron a la función arco seno.

3.4.1.2 2da. Fase de humedecimiento-secado + dosis producto + tiempo de imbibición

Durante la segunda fase (6 meses después) se utilizaron 3 tiempos de imbibición (2, 8 y 12 hrs.), combinándose con 7 productos químicos a 3 dosis, obteniéndose 63 combinaciones o tratamientos (Cuadro 1). En la segunda fase, el proceso de secado de la semilla fue similar al utilizado en la primera fase.

CUADRO 1. DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS QUIMICOS A LA SEMILLA (DOSIS Y TIEMPO DE IMBIBICION)

TRAT		1	2	3	4	5	6	7	8	9
PROD.	CALCIDEF	12 hr/1gr	12hr./5 gr	12hr./2gr	8hr./1gr	8hr./0.5gr	8hr./0.2gr	2hr./1.0gr	2hr./0.5gr	2hr./0.2gr
TRAT		10	11	12	13	14	15	16	17	18
PROD.	MAXI-GROW	12 hr	12hr.	12hr.	8hr.	8hr.	8hr.	2hr.	2hr.	2hr.
TRAT		19	20	21	22	23	24	25	26	27
PROD.	CALCIO FEM	12 hr	12hr.	12hr.	8hr.	8hr.	8hr.	2hr.	2hr.	2hr.
TRAT		28	29	30	31	32	33	34	35	36
PROD.	ACTIVOL	12 hr	12hr.	12hr.	8hr.	8hr.	8hr.	2hr.	2hr.	2hr.
TRAT		37	38	39	40	41	42	43	44	45
PROD.	GIBGRO	12 hr	12hr.	12hr.	8hr.	8hr.	8hr.	2hr.	2hr.	2hr.
TRAT		46	47	48	49	50	51	52	53	54
PROD.	GBIOTIN 101	12 hr	12hr.	12hr.	8hr.	8hr.	8hr.	2hr.	2hr.	2hr.
TRAT		55	56	57	58	59	60	61	62	63
PROD.	BIOZIME(10ml)	12 hr	12hr.	12hr.	8hr.	8hr.	8hr.	2hr.	2hr.	2hr.
TRAT		64	65	66	67					

3.4.1.2.1 Variables evaluadas

Se tomaron como variables % de germinación, velocidad de emergencia (como medida de vigor).

3.4.1.2.2 Diseño experimental y análisis estadístico.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 2 repeticiones en un arreglo factorial $A \times B \times C$ en donde el factor A correspondió a los 7 productos químicos, factor B a las 3 dosis y factor C a los 3 tiempos de imbibición.

Como prueba comparativa de medias se utilizó al estadístico DMS al 99% de probabilidad.

En las dos variables, con el objeto de observar la participación de cada tratamiento, se realizó un análisis individual de los 67 tratamientos en un diseño completamente al azar.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 1ra. Fase de humedecimiento-secado

- Contenido de humedad después del periodo de imbibición:

Como se observa en la Figura 1 el mayor porcentaje de humedad obtenido en la semilla fue a las 40 hrs. de imbibición en agua purificada (35.58%); mientras que, para el agua no purificada el mayor porcentaje se obtuvo a las 12 hrs. de imbibición (35.48%). La diferencia en el tiempo puede deberse a que el agua purificada en teoría tiene menos sales que el agua común (no purificada), alcanzando la semilla un porcentaje de humedad mayor en agua no purificada en un período más corto.

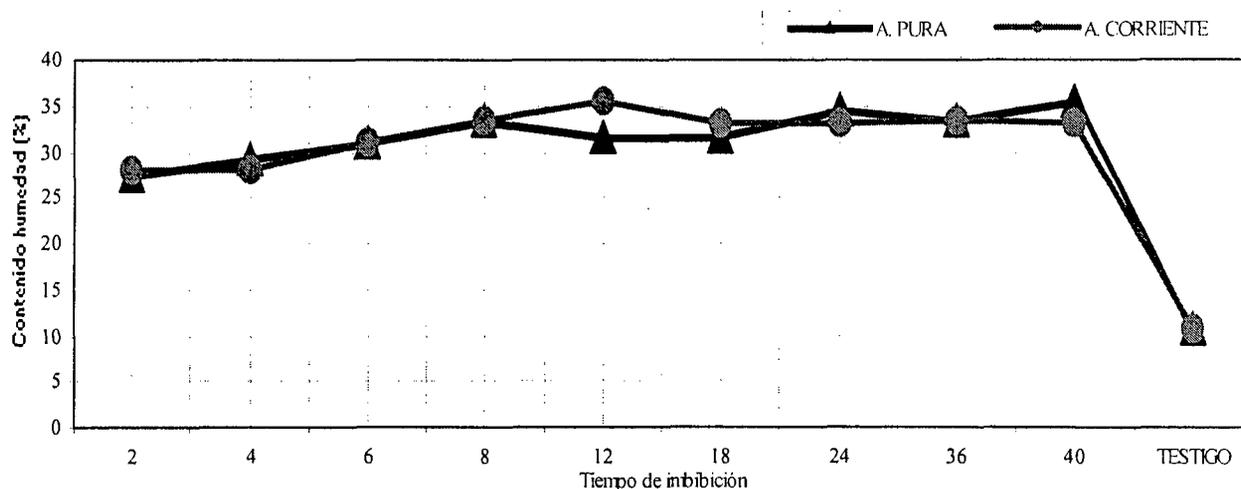


Figura 1. Contenido de humedad de la semilla en agua no purificada (A. corriente) y A. Purificada después del período de imbibición

En agua no purificada (agua corriente) a las 12 hrs. se nota un consumo máximo de agua y una disminución en el consumo del agua a medida que avanza el periodo de imbibición.

El agua se desplaza de un sitio o área donde la concentración es alta (más pura), a un área donde la concentración es menor (menos pura) mediante la difusión

hasta que establece un equilibrio. El agua en una semilla con 10 a 13% del contenido de humedad no esta muy concentrada, es muy impura. Delouche, (1979).

- Contenido de humedad después del periodo de secado

Como se muestra en la Figura 2 los porcentajes más bajos de humedad después del periodo de secado se obtuvieron en agua purificada en el tratamiento de imbibición de 6 hrs, y para el agua no purificada a las 24 hrs. En tanto que los tratamientos que perdieron menor cantidad de agua obtenida durante la imbibición fueron en el de 12 hrs. con agua purificada y 18 hrs. con agua no purificada

Se puede observar que los tratamientos de imbibición que lograron que la semilla alcanzará mayor porcentaje de humedad durante el período de imbibición (Figura 1) después del periodo de secado su porcentaje se igualó al del testigo quedando incluso un poco más elevado el del tratamiento de 12 hrs en agua purificada (alcanzando casi un 12% de humedad en comparación al testigo quedando por arriba del 10%). En agua no purificada el porcentaje de humedad disminuyó en casi todos los tiempos, a excepción del tratamiento de 18 hrs. en donde la humedad final estuvo por arriba del testigo.

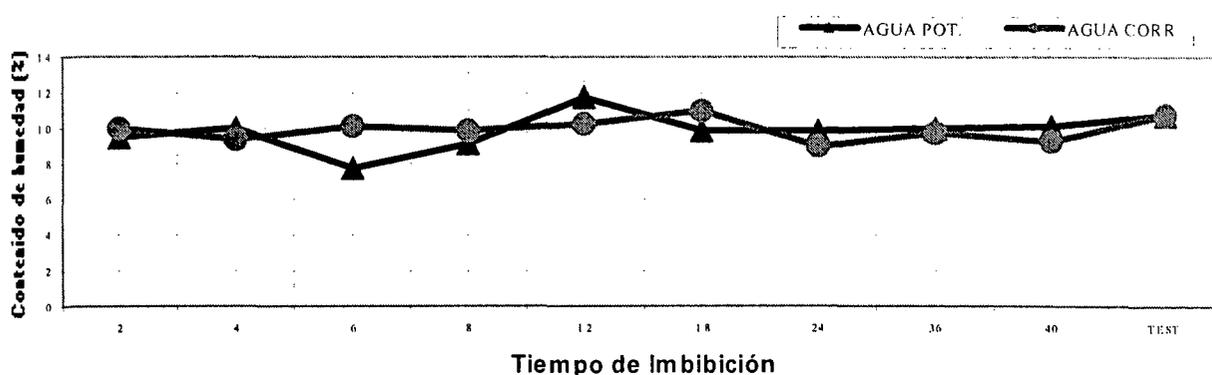


Figura 2. Contenido de humedad de la semilla en agua purificada y agua no purificada (A. corriente) después del período de secado

4.1.1 Pruebas de germinación y vigor (velocidad de emergencia) después de secada la semilla.

4.1.1.1 Análisis de varianza.

Se obtuvieron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) en las variables germinación estándar en el tiempo de imbibición y no significativas en el tipo de agua, lo que sugiere que es indistinto el tipo de agua que se utilice (Cuadro 2). Así mismo se obtuvo alta significancia ($\alpha \leq 0.01$) en la interacción de tiempo de imbibición y tipo de agua, seguramente porque algún período de imbibición tuvo más efecto con el tipo de agua (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza en la variable germinación estándar después de secada la semilla.

F.V	G.L.	S.C.	CM	F	P>F
BLOQUES	1	129.90	129.59	24.60**	0.001
TIEMPO (F A)	9	420.39	46.71	8.8687**	0.002
ERROR A	9	47.70	5.26		
TIPO AGUA(F B)	1	1.59	1.59	0.4318 ^{NS}	0.532
A X B	9	206.40	22.93	6.1983**	0.005
ERROR B	10	37.00	3.70		
TOTAL	39	842.39			

C.V. 1.5%

Donde: N.S.= No significancia

**= Significancia estadística ($\alpha \leq 0.01$)

C.V.= Coeficiente de variación en por ciento

Mientras que en la variable velocidad de emergencia se obtuvieron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) tanto en el tipo de agua, período de imbibición y en la interacción de estos dos factores (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza en la variable velocidad de emergencia después de secada la semilla.

F.V	G.L	S.C	C.M	F	P>F
BLOQUES	1	0.4223	0.4223	13.0621**	0.006
TIEMPO (F A)	9	103.1850	11.4650	354.5688**	0.000
ERROR A	9	0.2910	0.0323		
TIPO AGUA(F B)	1	9.0341	9.0341	127.9530**	0.000
A X B	9	44.0976	4.8997	69.3960**	0.000
ERROR B	10	0.7060	0.0706		
TOTAL	39	157.73			

C.V. 1.95%

Donde: **= Significancia estadística ($\alpha \leq 0.01$)

C.V.= Coeficiente de variación en por ciento

4.1.1.2 Análisis de medias.

Al realizar la prueba de medias (DMS) en la prueba de germinación estándar los tratamientos de imbibición que superaron al testigo en agua corriente (no purificada) fueron a las 6, 12, y 36 hrs.; mientras que en agua purificada los periodos que superaron al testigo fueron a las 2 y 18 hrs. respectivamente (Figura 3). A pesar de que en agua purificada el mayor contenido de humedad se obtuvo a las 40 hrs. (Figura 1), se observa una caída en la germinación al compararlo con el testigo, lo que sugiere que un periodo de imbibición por arriba de 40 hrs. puede causar un deterioro en la semilla posiblemente debido a las deficiencias de oxígeno dentro de la semilla.

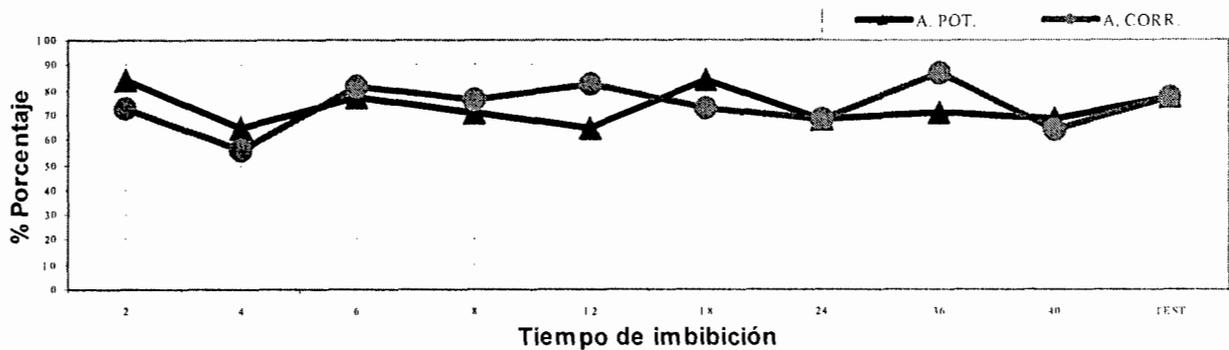


Figura 3. Porcentaje de germinación estándar después del periodo de secado a diferentes tiempos de imbibición en agua purificada y agua no purificada (a. corriente).

Estos resultados concuerdan con Arellano, *et al*; (2000), en donde en un experimento similar obtuvieron porcentajes de germinación arriba del testigo con 18 hrs. de imbibición de la semilla en agua corriente.

En lo referente a velocidad de emergencia en la prueba de medias en agua potable se obtuvieron 6 grupos de significancia; en tanto que en agua no purificada se observaron 7 grupos de significancia (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados obtenidos en la variable velocidad de emergencia en la prueba de medias DMS con un nivel de significancia del 0.01 con el uso de agua purificada y agua no purificada.

Agua purificada		Agua no purificada	
Tratamiento(hrs)	Media	Tratamiento (hrs)	Media
2	15.34A	12	17.60A
12	14.70AB	36	16.75B
4	14.21B	4	16.32BC
36	13.88B	18	15.60C
24	13.00C	24	14.25D
Testigo	12.90CD	8	14.23D
8	12.10DE	Testigo	12.75E
40	12.00E	2	11.82F
18	12.00E	40	11.10FG
6	11.00F	6	10.35G

En la variable de vigor (velocidad de emergencia) el mejor período de imbibición fue de 12 , 36 y 4 hrs. en agua no purificada. Resultado muy similar al obtenido en el porcentaje de germinación. En tanto que, en agua purificada los mejores períodos de imbibición correspondieron a 2, 12, 4 y 36 hrs. (Cuadro 4, Figura 4).

Se puede observar que al usar agua purificada se puede lograr un porcentaje de germinación y emergencia muy por arriba del testigo con solo imbibir la semilla durante 2 hrs. a diferencia del agua no purificada en donde con 12 y 36 hrs. se logra obtener porcentajes altos en estas variables.

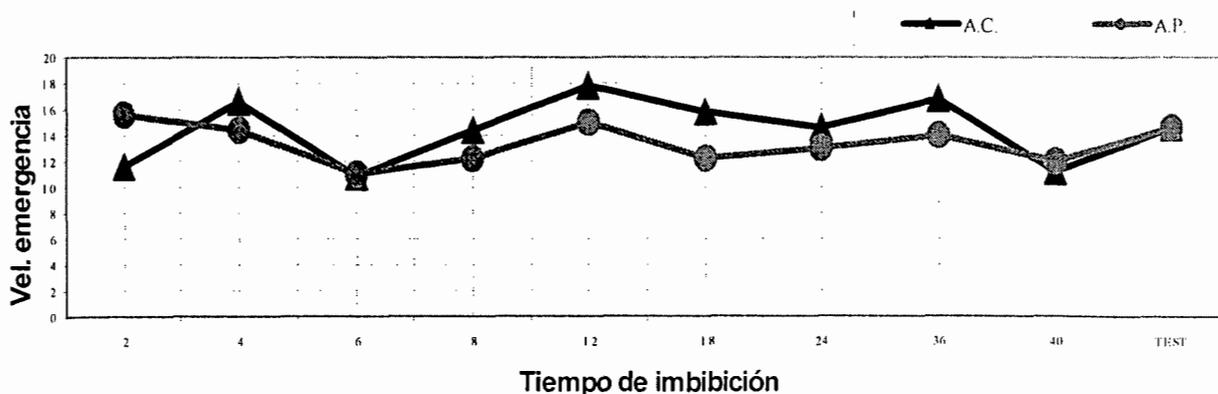


Figura 4. Velocidad de emergencia obtenida en agua purificada y no purificada (a. corriente) y en los diferentes tiempos de imbibición en pruebas de campo.

En general se obtuvo una recuperación significativa tanto en porcentaje de germinación como de vigor al imbibir la semilla, lo cual puede ser útil para revigorar material elite en programas de mejoramiento.

De manera práctica se puede sugerir al productor de granos imbibir su semilla con agua de uso común durante 12 hrs. y después secarse durante un periodo mínimo de 24 hrs. para poder mecanizar su siembra, sin embargo en producción de semilla se puede recomendar imbibir la semilla en agua purificada (libre de cloros y sales) de 2 a 4 hrs. y así poder acortar el periodo de emergencia en campo, además de que puede ser una herramienta práctica en el control de floración tanto de machos como de hembras.

4.2 2da Fase humedecimiento - secado + Tratamiento químico + Tiempo de imbibición

4.2.1 Análisis de varianza.

En la segunda fase se obtuvieron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) en la variable de porcentaje de germinación en el factor producto y en tiempo de imbibición y no significativas en los factores: dosis, ni en la interacción entre estos. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza en la variable porciento de germinación en segunda fase.

F.V	G.L	S.C	C.M	F	P>F
PRODUCTO (F A)	6	1348.04	224.67	2.807 **	0.017
DOSIS (F B)	2	54.57	27.28	0.341 N.S	0.717
TIEMPO (F C)	2	1099.71	549.85	6.870 **	0.002
A X B	12	332.65	27.72	0.346 N.S	0.976
A X C	12	1600.95	133.41	1.666 N.S	0.096
B X C	4	318.51	79.62	0.994 N.S	0.582
A X B X C	24	1317.32	54.88	0.685 N.S	0.846
ERROR	63	5042.31	80.03		
TOTAL	125	11114.10			

C.V = 21.68%

Donde: ** = Significancia estadística ($\alpha \leq 0.01$)

N.S. = No significancia

C.V. = Coeficiente de variación en porciento

En lo referente a la variable velocidad de emergencia el análisis de varianza mostró diferencia altamente significativa ($\alpha \leq 0.01$) solo en la factor tiempo. No se encontraron diferencias significativas en las dosis y productos utilizados, ni en la interacción entre factores (cuadro 6). Esto posiblemente se deba a que unos de los aspectos principales en la germinación y emergencia de las plántulas sea el tiempo de imbibición ya que debe existir un equilibrio entre el agua que es absorbida por la semilla y la respiración de esta para evitar que una saturación de agua en la semilla dañe el embrión por falta de oxígeno y ésta no pueda germinar.

Cuadro 6.. Análisis de Varianza en la variable Velocidad de Emergencia.

F.V	G.L	S.C	C.M	F	P>F
PRODUCTO (F A)	6	89.64	14.94	2.38 N.S	0.03
DOSIS (F B)	2	5.07	2.53	0.40 N.S	0.67
TIEMPO (F C)	2	107.27	53.63	8.57 **	0.001
A x B	12	28.00	2.33	0.37	0.968
A x C	12	134.79	11.23	1.79	0.068
B x C	4	19.45	4.86	0.77	0.546
A x B x C	24	99.40	4.14	0.66	0.868
ERROR	63	393.94	6.25		
TOTAL	125	877.60			

C.V = 36.89 %

Donde: ** = Significancia estadística ($\alpha \leq 0.01$).

N.S.= no significancia

C.V = Coeficiente de variación en por ciento.

4.2.2 Análisis de medias

En la variable porcentaje de germinación el mejor tiempo de imbibición correspondió a 8 horas; mientras que al observar las medias obtenidas en la interacción de los factores producto x tiempo nos muestran que el porcentaje más alto se obtiene con el producto Calcidef (Calcio) seguido del producto Activol (Ag3) y biozyme a 8 hrs. de imbibición (Cuadro 7, Figura 5).

Cuadro7. Tabla de medias del factor Tratamiento (FA) y Tiempo de Imbibición (FC)

FACTOR A	FACTOR C (12 hrs) 1	FACTOR C (8hrs) 2	FACTOR C (2hrs) 3	MEDIA
1. CALCIDEF	32.23	52.71	38.13	41.02
2. MAXÍ GROW	32.50	38.70	37.51	36.23
3. CALCIO FEM	45.39	40.21	43.34	42.98
4. ACTIVOL	47.42	50.90	43.52	47.28
5. GIBGRO	38.83	45.55	30.31	38.23
6. GIBIOTIN	40.33	43.05	38.88	4.75
7. BIOZYME	43.06	46.21	37.43	42.23
MEDIA	39.96	45.33	38.45	41.25

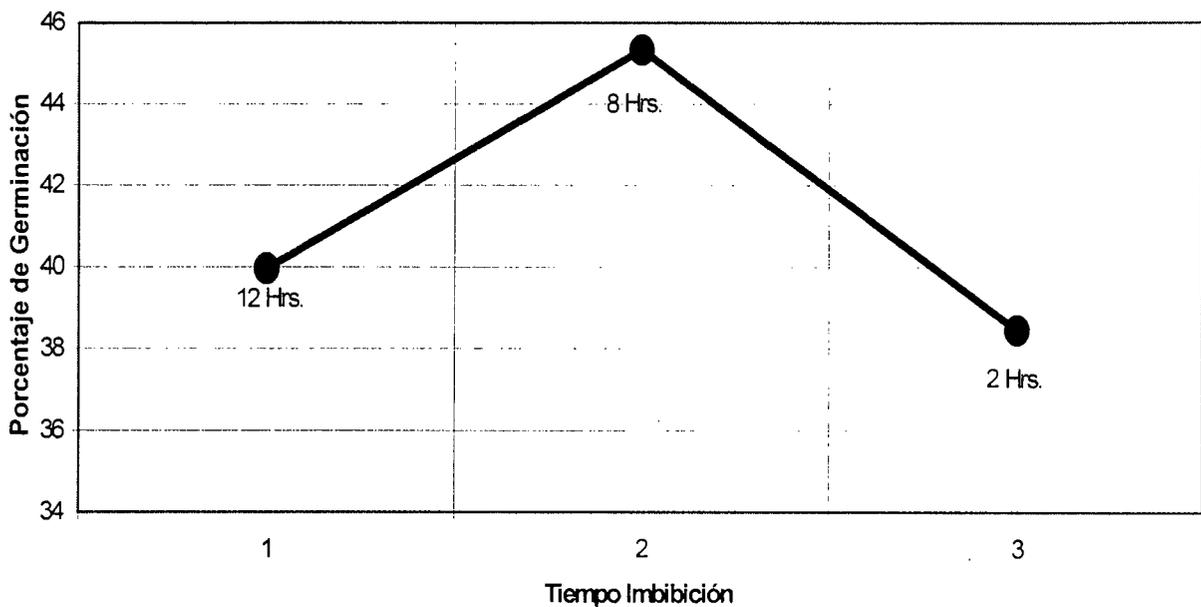


Figura 5. Porcentaje de germinación obtenido en el factor tiempo de imbibición.

En la variable velocidad de emergencia, en el factor tiempo los valores más altos se obtuvieron con el producto de Activol y Calcidef a un tiempo de 8 hrs de imbibición (Cuadro 8).

Cuadro 8. Tabla de medias en la variable velocidad de emergencia para producto y tiempo.

FACTOR A	(12 hrs) 1	(8 hrs) 2	(2hrs) 3	MEDIA
1. CALCIDEF	4.55	10.27	5.19	6.67
2. MAXIGROW	5.26	5.36	5.83	5.48
3. CALCIOFEM	7.81	6.57	6.66	7.01
4. ACTIVOL	8.52	9.59	7.29	8.47
5. GIBGRO	6.69	8.36	3.46	6.17
6. GIBIOTIN	6.44	7.51	6.24	6.73
7. BIOZYME	6.43	8.39	5.84	6.88
MEDIA	6.53	8.01	5.79	6.77

Al hacer un análisis individual de los 67 tratamientos evaluados, se puede observar en la Figura 6 que los mejores porcentajes de germinación se dieron con el uso del producto Activol 0.2 gr/lit en 12 hrs de imbibición y 0.5 gr/lit en 8 hrs, seguidos del producto Biozime y Calcidef ambos en dosis de 1 gr/lit a 8 hrs de imbibición respectivamente.

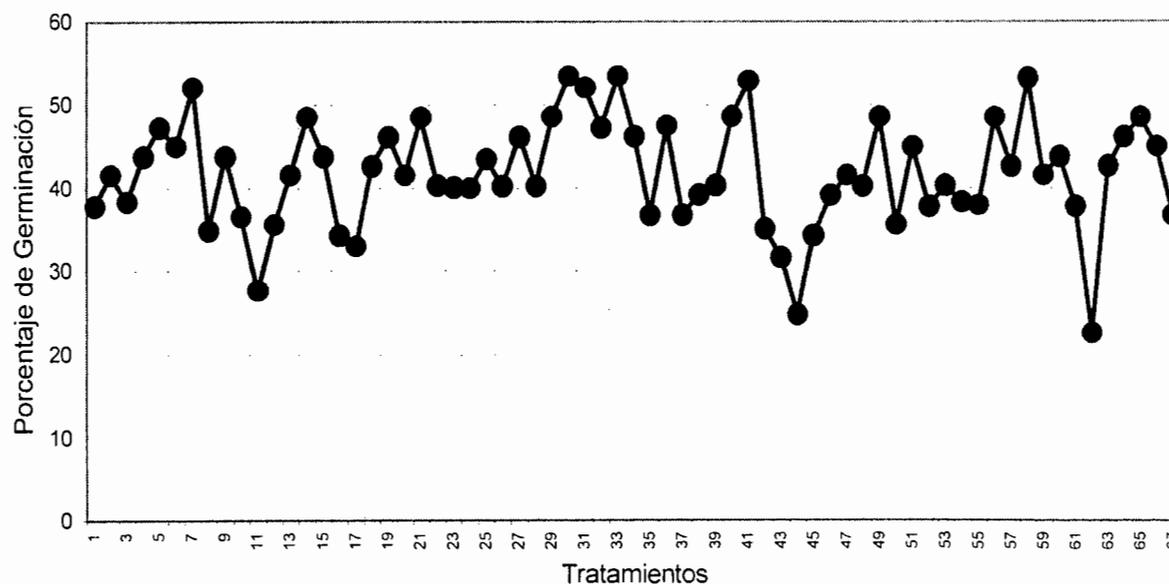


Figura 6. Resultados obtenidos en porcentaje de germinación en los 67 tratamientos evaluados (incluyendo testigo: No. 67).

Estos resultados pueden deberse a que el ácido giberelico (Activol) en la fisiología de las plantas actúa especialmente en las áreas de activo crecimiento como los embriones o los tejidos meristemáticos. En lo referente a tiempos de imbibición

(Figura 8) se observa que el mejor tiempo fue de 8 hrs, encontrándose los valores más altos en las variable de porcentaje de germinación y velocidad de emergencia. Resultados similares a los reportados por Arellano et al (2000).

V. CONCLUSIONES

1. El tiempo de imbibición jugó un papel determinante en las variable germinación y velocidad de emergencia encontrándose que el periodo óptimo de imbibición en agua no purificada fue a las 12 hrs. y en agua purificada a las 2 hrs.
2. Se observó que el tipo de agua utilizada fue muy importante en la variable germinación estándar ya que con agua purificada el mayor valor se obtuvo a las 2 hrs., mientras que para el agua no purificada se incrementó el tiempo de imbibición a 12hrs. Sin embargo para la variable velocidad de emergencia los valores obtenidos fueron muy similares ya que se registraron los mejores tiempo de imbibición a las 4, 12 y 36 de humedecimiento en la semilla para ambos tipos de agua (purificada y no purificada).
3. Se presentó un incremento en la germinación y emergencia de la semilla al incorporar productos químicos a base de Ag3 (ácido giberélico) y calcio, registrándose los valores más altos al imbibir la semilla durante de 8 hrs.
4. Con el método de humedecimiento y secado de la semilla usando agua y productos químicos a base de Ag3 (ácido giberélico) y calcio se favoreció en gran medida la recuperación en germinación y vigor de la semilla utilizada.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Arellano, R.L.J., J.Sánchez, M., M. Padilla, G.,S. Hurtado de la P. 2000. Efectos de la imbibición de semilla sobre la calidad fisiológica en semilla de maíz y sorgo. En: Memorias XVIII Congreso Nacional Somefi. Sociedad Mexicana de Fitogenética. P199.
2. Acosta A., J., y H. Ospina F. 1979. Producción de semilla de frijol de buena calidad. Guía de Estudio. CIAT. Calí, Colombia. 39 p.
3. Bernal – Lugo I. 1981. Departamento de Bioquímica Vegetal. Facultad de Química de la UNAM.
4. Besnier R. F.1965. Publicaciones del Ministerio de Agricultura. Manual Técnico #35, pp: 33 – 49.Madrid.
5. Bidwel, R.G.S.1990. Fisiología Vegetal. A.G.T. editor, 1ª edición. México.
6. Ching, T. M. 1973. Biochemical Aspect of Seed Vigor. Seed Sci and Technology. 1: 73-88.
7. Copeland, L.O. 1977. High-quality seed. Basic key to better crop production. Michigan State University.
8. Copeland, O. L. 1976. Principles of Seed science and Technology. Ed. Burgess Publishing Company. Printed in the United States of America.
9. Copeland, L. O. and M. B. Mc Donald. 1985. Principles of Seed Science and Technology. 2nd. ed. Burgess Publishing Company.

10. Cromarty, A. S., R. H. Ellis, and E. H. Roberts. 1990. The Design of Seed Storage Facilities for Genetic Conservation. Handbook for Genebanks: No. 1. International Board for Plant Genetic Resources.
11. Dávila, S. 1990. Aseguramiento de la calidad durante la postcosecha de las semillas. En: Memorias del VI Curso de Actualización en Tecnología de Semillas: Ortegón P., J., M.
12. Delouche J.C. 1979. SEEDSMEN'S DIGEST. Marzo – Agosto.
13. Delouche, J. C. 1973. Precepts of Seed Storage. Proceeding of the Mississippi State Seed Processors Shortcourse, 1973.
14. Duffus C. y Slaughter C. 1985. Las semillas y sus Usos. A.G.T. Editor, S.A. México.
15. Duffus C. y Slaughter C. 1992. Las semillas y sus usos. (Traducido del inglés al español por el Dr Fidel Marquez Sánchez). AGT Editor. Primera reimpresión. México, D.F.: p 88.
16. Estrella M. M., L. A. Bustamante G. y A Rodríguez P. (eds.). 28-30 de Noviembre de 1990. CCDTS UAAAN. pp 17-22.
17. Enciclopedia Encarta Microsoft. Calcio. 2003.
18. Galeano A., J. R. 1993. Relación entre la fecha de cosecha, calidad fisiológica, sanitaria y longevidad en semilla de sorgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
19. Garcidueñas R. M. 1979. Fisiología Vegetal Aplicada. Libros Mcgraw-Hill de México.

20. Gil G., M. 1990. Manual de secado y aireación para capacitación de técnicos en conservación de granos. Centro Nacional de Investigación, Certificación y Capacitación. México, D.F.: p 7.
21. Gómez, G. O. J. 1992. Mejoramiento Genético de Frijol (Phaseolus vulgaris L.) Considerando Longevidad y Vigor de Semillas como Criterios Iniciales de Selección. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Centro de Genética.
22. Gutiérrez H., G. F. 1988. Calidad de semilla de maíz en función de factores genéticos, fisiológicos y ambientales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
23. Jiménez M., A. 1990. Semillas Forrajeras para Siembra. Edit. Celsa Cosío Ruíz. México. 84 p.
24. Khan, A. A. 1980. The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination. 2nd printing. North-Holland Publishing Company.
25. López, S. H. 1994. Deterioro de la Calidad Fisiologica de Diferentes Semillas Agrícolas en Función del Ambiente de Almacenamiento. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
26. Maguire, J. D. 1962. Speed of germination – AID in selection and evaluation for seedling emergente and vigor. Crop. Sci. 2:176-177.
27. Mayer, A. M. and Mayber, P. A. 1989. The Germination of Seeds. Fourth edition. Pergamon Press.
28. Mc Donald, M. B. Jr and C. J. Nelson. 1986. Phisiology of Seed Deterioration. CSSA Special Publication Number 11. Crop Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

29. Moreira de C., N. y Nakagawa. 1988. Semillas: Ciencia tecnología y producción. Editorial hemisferio sur. p 6-9; 106-111.
30. Moreno M.E. 1996. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Tercera Edición. México.
31. Peretti Anna. 1994. Manual para Análisis de Semillas – 1ª edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires.
32. Priestley, A. D., 1986. Seed Aging. Implications for Seed Storage and Persistence in the Soil. Comstock Publishing Associates. Printed in
33. Ramírez G., M. 1987. Almacenamiento y Conservación de Granos y semillas. Editorial CECSA. Decimoprimerá impresión. México, D.F.: p 19.
34. Rincón, S. F. 1989. Deterioro de Semillas de Maíz y su Relación con las Condiciones de Almacenamiento. Tesis de Maestría en Ciencias. CP. Centro de Genética.
35. Roberts, E.H .1972. En Viability of Vegetal. Roberst E.H 14 – 58. Chapman y Hall, London.
36. Roberts, E. H. 1986. Predicting the Storage Life of Seeds. Seed Sci. and Technology 1: 499-514.
37. Sullivan, G. A. and D. A. Perry. 1976. Comparative Field Performance of Plants Developing from Normal and Abnormal Seedlings of Peanuts. Peanut Science 3(1): 29-31.
38. Tonking, J.H.B. 1988. Noted effects of some chemical treatments in germination test on wheat and barley. In: Application to see.