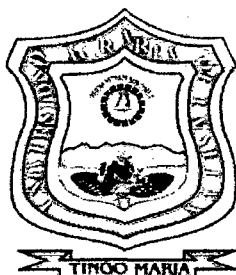


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Departamento Académico de Ciencias Agrarias



**“PRUEBAS DE VIABILIDAD Y VIGOR EN SEMILLAS DE
MAÍZ (*Zea mays* L.) Y SU CORRELACION CON LA
EMERGENCIA EN CAMPO”**

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

RÓMULO DÍAZ CERÓN

PROMOCION 2006-II

Tingo María – Perú

2009



F03

D67

Díaz Cerón, Rómulo

Pruebas de Viabilidad y Vigor en Semillas de Maíz (*Zea mays* L.) y su Correlación con la Emergencia en Campo. Tingo María 2009

90 h.; 50 cuadros; 16 fgrs.; 15 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

ZEA MAYS L. / VIABILIDAD-VIGOR / CORRELACIÓN / SEMILLA
CERTIFICADA / EMERGENCIA / GERMINACIÓN / METODOLOGÍA /
TINGO MARÍA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUÁNUCO / PERÚ.

DEDICATORIA

Al rey de reyes y señor de señores

(Apoc. 19:16), a Jesucristo mi redentor.

A quien sirvo y por quien vivo estoy.

A mi familia, a mis padres Rómulo y Gregoria y a mis cinco preciosas hermanas: Consuelo, Jaqueline, Lilia, Nely y Amy Nicole; por su apoyo incondicional, cariño y comprensión en todo momento.

A Marilyn, por su amor y su invaluable apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que intervinieron en la elaboración del presente trabajo de tesis y en mi formación profesional.

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Facultad de Agronomía, fuente de estudio y trabajo, por acogerme en su seno y formarme como profesional.
- Al Ing. Agr. Luis Fernando García Carrión, quien tomó la responsabilidad de asesorar el presente trabajo de tesis.
- Al Ing. M. Sc. David Guarda Sotelo, quien tomó la responsabilidad de copatrocinar el presente trabajo de tesis.
- Al Ing. Agr. Walter Panduro Calderón por su apoyo desinteresado durante el desarrollo del presente trabajo de tesis.
- A todas aquellas personas que invirtieron parte de su tiempo y me apoyaron de manera directa e indirecta en la evaluación de las distintas pruebas; a Martha Aycachi Santacruz, Marco Florián Rioja y Oscar Paredes Rojas.

INDICE

| | Pág. |
|--|------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 15 |
| 2.1 Generalidades del maíz..... | 15 |
| 2.2 Concepto y estructura de la semilla de maíz..... | 18 |
| 2.3 Germinación de la semilla..... | 18 |
| 2.4 Calidad de las semillas..... | 19 |
| 2.5 Pruebas de viabilidad..... | 21 |
| 2.5.1 Prueba de germinación estándar (PGE)..... | 21 |
| 2.6. Pruebas de vigor..... | 23 |
| 2.6.1 Prueba de frío (PF)..... | 26 |
| 2.6.2 Ensayo topográfico con tetrazolio (ETZ)..... | 28 |
| 2.7 Ensayos en viabilidad y vigor de semillas..... | 31 |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 34 |
| 3.1 Lugar de ejecución..... | 34 |
| 3.2 Metodología..... | 34 |
| 3.2.1 Pruebas de viabilidad..... | 34 |
| A. Prueba de germinación estándar..... | 34 |
| 3.2.2 Pruebas de vigor..... | 35 |
| A. Ensayo topográfica con tetrazolio..... | 35 |
| B. Prueba de frío..... | 36 |
| 3.2.3 Prueba en campo..... | 38 |
| 3.3 Componentes en estudio..... | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.4 | Tratamientos en estudio..... | 39 |
| 3.5 | Diseño experimental..... | 39 |
| 3.5.1 | Estimación de medidas de tendencia central, de dispersión y comparación de medias..... | 40 |
| 3.5.2 | Coefficiente de correlación..... | 41 |
| 3.6. | Observaciones registradas..... | 42 |
| 3.6.1 | En la prueba de germinación estándar..... | 42 |
| 3.6.2 | En el ensayo topográfico con tetrazolio..... | 43 |
| 3.6.3 | En la prueba de frío..... | 44 |
| 3.6.4 | Prueba en campo..... | 45 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 47 |
| 4.1 | De las pruebas de viabilidad..... | 47 |
| 4.1.1 | Prueba de germinación estándar..... | 47 |
| 4.2 | De las pruebas de vigor..... | 58 |
| 4.2.1 | Ensayo topográfico con tetrazolio..... | 58 |
| 4.2.2 | Prueba de frío..... | 64 |
| 4.3 | Prueba en campo..... | 71 |
| 4.4 | Correlación de las pruebas de laboratorio con la prueba en campo..... | 76 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 82 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 83 |
| VII. | RESUMEN..... | 84 |
| VIII. | BIBLIOGRAFÍA..... | 86 |
| IX. | ANEXO..... | 90 |

INDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|-------------|
| 1. Cuadro de tratamientos..... | 40 |
| 2. Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en la prueba de germinación estándar según la prueba de "F"..... | 48 |
| 3. Comparación de medias para los lotes de semilla de maíz, en la prueba de germinación estándar (Duncan, $\alpha= 0.05$)..... | 50 |
| 4. Lectura de las categorías de plántulas en la prueba de germinación estándar..... | 54 |
| 5. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de plántulas normales (NPN) en la prueba de germinación estándar..... | 56 |
| 6. Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en el ensayo topográfico con tetrazolio según la prueba de "F"..... | 59 |
| 7. Comparación de medias para tres estados de semilla de maíz, en el ensayo topográfico con tetrazolio (Duncan, $\alpha= 0.05$)..... | 60 |
| 8. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de semillas vigorosas (NSVg) y número plántulas normales (NPN), según el ensayo topográfico por tetrazolio..... | 64 |
| 9. Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en la prueba de frío según la prueba de "F"..... | 65 |
| 10. Comparación de medias para tres estados de semillas de maíz, en la prueba de frío (Duncan, $\alpha= 0.05$)..... | 66 |

| | | |
|-----|--|----|
| 11. | Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de plántulas normales (NPN), según la prueba de frío.... | 69 |
| 12. | Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en la prueba de campo según la prueba de "F"..... | 72 |
| 13. | Comparación de medias para los estados de semilla de maíz con respecto al número de plántulas normales (NPN), número de plántulas anormales (NPA) y número de semillas muertas (NSM), en la prueba en campo (Duncan, $\alpha= 0.05$)..... | 73 |
| 14. | Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de plántulas normales (NPN), según la prueba de campo | 75 |
| 15. | Coeficientes de correlación y de determinación para las pruebas de laboratorio comparados con la prueba de campo..... | 78 |
| 16. | Resultados de la prueba de germinación estándar para maíz del lote semilla fresca..... | 91 |
| 17. | Resultados de la prueba de germinación estándar para maíz del lote semilla no frescas..... | 92 |
| 18. | Prueba de germinación estándar para maíz del lote semilla certificada..... | 93 |
| 19. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semillas frescas, repetición 1..... | 94 |
| 20. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semillas frescas, repetición 2..... | 95 |
| 21. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semillas frescas, repetición 3..... | 96 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 22. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla no frescas, repetición 1..... | 97 |
| 23. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla no frescas, repetición 2..... | 98 |
| 24. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla no frescas, repetición 3..... | 99 |
| 25. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla certificada, repetición 1..... | 100 |
| 26. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla certificada, repetición 2..... | 101 |
| 27. | Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla certificada, repetición 3..... | 102 |
| 28. | Resultados de la prueba de frío para maíz del lote semillas frescas..... | 103 |
| 29. | Resultados de la prueba de frío para maíz del lote semillas no frescas..... | 104 |
| 30. | Resultados de la prueba de frío para maíz del lote semilla certificada..... | 105 |
| 31. | Resultados de la emergencia en campo en condiciones parcialmente controladas para maíz del lote semillas frescas..... | 106 |
| 32. | Resultados de la emergencia en campo en condiciones parcialmente controladas para maíz del lote semillas no frescas. | 107 |
| 33. | Resultados de la emergencia en campo en condiciones parcialmente controladas para maíz del lote semillas certificada.. | 108 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 34. | Promedio del número de plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación, según la prueba de germinación estándar..... | 109 |
| 35. | Promedio del número de semillas vigorosas (NSVg), plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación, en el ensayo topográfico con tetrazolio..... | 110 |
| 36. | Promedio del número de plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación (PG), según la prueba de frío..... | 111 |
| 37. | Promedio del número de plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación (PG), según la prueba de campo..... | 112 |
| 38. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en la prueba de germinación estándar..... | 113 |
| 39. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en la prueba de germinación estándar..... | 113 |
| 40. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en la prueba de germinación estándar..... | 114 |
| 41. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas vigorosas en el ensayo topográfico con tetrazolio..... | 114 |
| 42. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en el ensayo topográfico con tetrazolio..... | 115 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 43. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en el ensayo topográfico con tetrazolio..... | 115 |
| 44. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en el ensayo topográfico con tetrazolio..... | 116 |
| 45. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en la prueba de frío..... | 116 |
| 46. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en la prueba de frío..... | 117 |
| 47. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en la prueba de frío..... | 117 |
| 48. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en la prueba de campo..... | 108 |
| 49. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en la prueba de campo..... | 118 |
| 50. | Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en la prueba de campo..... | 119 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| 1. Anatomía de la semilla de maíz..... | 18 |
| 2. Corte longitudinal del cariópse a lo largo del embrión, previo a la inmersión en la solución de tetrazolio (PERETTI, 1994)..... | 29 |
| 3. Patrón de tinción usado para la lectura de semillas en la prueba con tetrazolio (PERETTI, 1994)..... | 30 |
| 4. Promedios de los resultados obtenidos en la prueba de germinación estándar para tres tipos de semillas de maíz..... | 51 |
| 5. Promedios de los resultados obtenidos en el ensayo topográfico con tetrazolio para tres tipos de semillas de maíz..... | 61 |
| 6. Promedios de los resultados obtenidos en la prueba de frío para tres tipos de semillas de maíz..... | 67 |
| 7. Promedios de los resultados obtenidos en la prueba de campo para tres tipos de semillas de maíz..... | 74 |
| 8. Promedios del número de plántulas normales, en la prueba de germinación estándar (PGE), ensayo topográfico con tetrazolio (ETZ), prueba de frío (PF) y en la prueba de campo (PC) para tres tipos de semillas de maíz..... | 81 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 9. | Lectura de la prueba de germinación estándar para el lote de semilla no fresca..... | 119 |
| 10. | Lectura de la prueba de germinación estándar para el lote de semilla fresca..... | 120 |
| 11. | Lectura de la prueba de germinación estándar para el lote de semilla certificada..... | 120 |
| 12. | Semillas viables sin defectos en la lectura del ensayo topográfico con tetrazolio..... | 121 |
| 13. | Semillas viables con defectos leves (izquierda), viable con defectos moderados (centro) y viable con defectos severos (derecha), en la lectura del ensayo topográfico con tetrazolio..... | 121 |
| 14. | Semillas no viables en la lectura del ensayo topográfico con tetrazolio..... | 122 |
| 15. | Plántulas emergidas en la prueba de frío..... | 122 |
| 16. | Plántulas emergidas en la prueba en campo..... | 123 |

I. INTRODUCCIÓN

La viabilidad y el vigor de la semilla constituye uno de los factores que afectan, en mayor proporción, el rendimiento potencial de un cultivar, y por lo tanto, el éxito en la actividad agrícola (ALIZAGA *et al.*, 1994).

En el cultivo del maíz el agricultor de la zona de Tingo María emplea con frecuencia su cosecha como semilla para el próximo ciclo de cultivo. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos, el manejo que recibe esta "semilla" es inapropiado debido a que no se emplean técnicas de producción ni de conservación que permitan mantener su calidad fisiológica.

La capacidad germinativa y el vigor son los principales atributos involucrados dentro del componente de calidad fisiológica en semillas (QUIRÓS y CARRILLO, 2001); existiendo diversas pruebas para determinar el poder germinativo y el vigor de semillas.

Para determinar el poder germinativo de las semillas se utilizan diversos medios para hacer germinar a las simientes, así tenemos: papel toalla, algodón, papel, arena, etc.; todas estas pruebas determinan cuantas semillas germinan en condiciones favorables. En cambio, las pruebas de vigor como: la prueba de frío y el ensayo topográfico con tetrazolio determinan cuantas semillas germinan en condiciones no favorables, que generalmente se presentan en el campo, creando la necesidad de determinar la prueba de

viabilidad o de vigor que mejor se correlacione con los resultados en campo y así permita obtener un buen análisis de la calidad fisiológica de semillas.

Se han realizado diversos trabajos para correlacionar los resultados de la prueba de germinación con las pruebas de vigor y la emergencia en campo en diversos cultivos encontrando correlaciones altas y bajas de acuerdo a las pruebas de laboratorio y especie de semilla, sin embargo en el país son pocos los trabajos realizados al respecto.

Por lo anteriormente mencionado, en este ensayo se evaluó la viabilidad y el vigor de tres lotes de semillas de maíz y se correlacionó los resultados con una prueba de emergencia en campo bajo condiciones parcialmente controladas, planteándose los siguientes objetivos:

1. Evaluar la viabilidad y el vigor en semillas de maíz.
2. Determinar la prueba de viabilidad y/o vigor que mejor se correlacione con el establecimiento en campo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo con mayor área cosechada en el Perú, se siembra en las tres regiones naturales, desde el nivel del mar en costa, hasta aproximadamente 3,600 msnm en la sierra.

En la costa y selva se produce el maíz amarillo duro, cuyo grano presenta endospermo cristalino. En la sierra se produce maíz con diferentes tipos de grano, siendo más frecuentes los maíces amiláceos constituidos por endospermo harinoso y opaco, y los maíces morochos, que se caracterizan por presentar una porción cristalina en el centro del grano rodeado por endospermo amiláceo (OIA - MINAG, 2000).

El maíz amarillo duro, es el principal componente (53%) de los alimentos balanceados que se producen en el país, de los cuales el 64.24% es utilizado para aves de carne, 26.52% para aves de postura, 3.09% para porcinos y 1.86% para engorde de ganado; un menor porcentaje se utiliza en la alimentación humana, en la forma de harinas, hojuelas, entre otros (OIA - MINAG, 2000).

La producción nacional de maíz amarillo duro a partir de 1991 no abastece la demanda interna, por lo que a partir de ese año el país importa

grandes cantidades de este cereal. La política del Sector Agrario considera disminuir la brecha entre la demanda interna y la oferta de maíz nacional por medio del incremento de la producción y la productividad, para lo que se necesita ofertar semilla de calidad, lo que contribuirá a reducir la fuga de divisas, fortalecer la seguridad alimentaria e incrementar la competitividad y bienestar socioeconómico de los productores de maíz amarillo duro (MINAG, 2006).

2.2 Concepto y estructura de la semilla de maíz

La semilla en sentido botánico es un óvulo fecundado, independiente de la planta madre que ha madurado hasta adquirir la diferenciación y capacidad fisiológica para originar un nuevo vegetal.

Una semilla usualmente consta de un embrión, tejidos nutritivos y cubiertas. La forma, textura, consistencia, el tamaño y color de estas partes varían según las especies, variedades y aún entre lotes de semillas de la misma especie y variedad (OBANDO y GOMES, 2004).

La cubierta externa, denominada testa, suele ser un recubrimiento duro y consistente. Estas características le confieren cierto grado de impermeabilidad al agua y a los gases pudiendo, por tanto, ejercer una función reguladora en el metabolismo de los órganos y tejidos internos de la semilla (OBANDO y GOMES, 2004).

El embrión posee un eje embrionario que es un tejido de forma alargada con un meristemo en cada punta, y según la especie presenta una o más hojas llamadas cotiledones. El extremo del embrión que da origen al tallo de la planta y que tiene el meristemo cubierto con primordios de hojas se conoce como epicotilo o plúmula; la parte del embrión que está entre la unión de los cotiledones con el eje y el meristemo que da origen a la raíz de la radícula se denomina hipocotilo (OBANDO y GOMES, 2004).

La semilla de maíz está contenida dentro de un fruto denominado cariósido; éste fruto a su vez, está constituido principalmente de tres partes (Figura 1): la cascarilla, el endospermo y el germen. La cascarilla o pericarpio es la piel externa o cubierta del grano, que sirve como elemento protector. El endospermo, es la reserva energética del grano y ocupa hasta el 80% del peso del grano; contiene aproximadamente el 90% de almidón, 9% de proteína y pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos traza. El germen o embrión, contiene una pequeña planta en miniatura constituida por la coleorriza, radícula, plúmula u hojas embrionarias, coleoptilo y el escutelo o cotiledón; además el germen contiene grandes cantidades de energía en forma de aceite, el cual tiene la función de nutrir a la planta cuando comienza el período de crecimiento, así como otras muchas sustancias necesarias durante el proceso de germinación y desarrollo de la planta (OBANDO y GOMES, 2004).

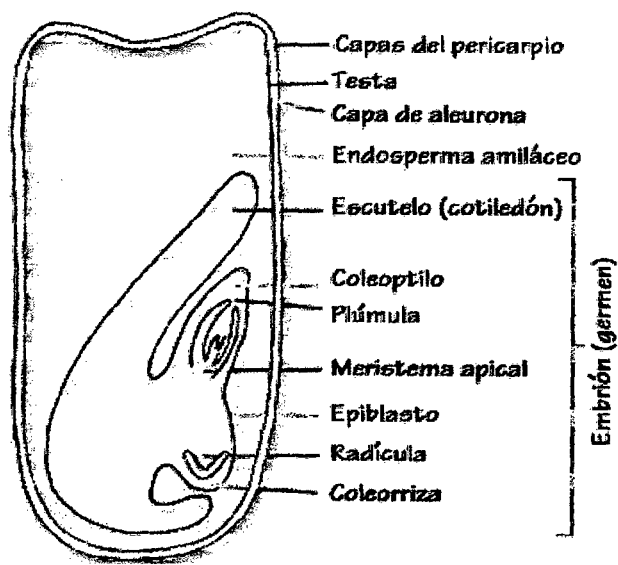


Figura 1. Anatomía de la semilla de maíz.

2.3 Germinación de la semilla

La germinación es el proceso mediante el cual el embrión adquiere el metabolismo necesario para reiniciar el crecimiento y transcribir las porciones del programa genético que lo convertirán en una planta adulta (OBANDO y GOMES, 2004). Otro concepto de germinación se da como la reanudación de las actividades de crecimiento del embrión, suspendidas o disminuidas al momento de alcanzar la semilla su madurez fisiológica (PERETTI, 1994).

En el lenguaje común agronómico se dice que una semilla ha germinado cuando todas las partes de la plántula emergen viables y sanas, pero es la ruptura de la testa por la radícula lo que en botánica se denomina germinación (DELOUCHE, 1971).

El proceso fisiológico de la germinación puede dividirse en varios eventos: (1) Imbibición.- que es el proceso físico de absorción de agua. (2) Activación.- que es la puesta en marcha de la maquinaria de síntesis y degradación. (3) División y elongación celular (4) Ruptura por la cubierta seminal por el embrión. (5) Establecimiento de la plántula como ente autónomo (UNALAM, 2004).

No todas las semillas que emiten la radícula u otro órgano, a través de las cubiertas son capaces de producir una planta con posibilidades de llegar a ser adulta; por ello, en el laboratorio no se consideran como semillas germinadas aquellas que originan plántulas anormales, es decir, que presentan defectos que les impedirán su desarrollo posterior (PERETTI, 1994).

2.4 Calidad de las semillas

Para cualquier producción económica de un cultivo es de vital importancia tener semillas de alta calidad que permitan obtener un buen establecimiento, desarrollo y rendimiento final (QUIRÓS y CARRILLO, 2001).

Para el productor una semilla de calidad es aquella que en el campo logra una implantación óptima y uniforme, en una determinada época (PERETTI, 1994). Sin embargo, según McDonald y Copeland (1997) citados por CONTRERAS y BARROS (2003), el concepto es mucho más amplio y comprende diversos factores tales como:

1. Pureza (genética, física)
2. Sanidad (malezas, hongos, insectos)
3. Potencialidad (viabilidad, germinación, vigor)

Lo ideal es que el 100% de un lote de semillas que se comercializa sea del cultivar elegido. Desafortunadamente en muchos casos existen contaminantes presentes en el lote de semillas adquirido. Una forma de medir la cantidad de contaminantes es a través de la pureza física, que establece el porcentaje de semillas que efectivamente corresponden al cultivar en cuestión, a otras especies, a malezas y a materia inerte.

También se evalúa la pureza genética del lote, que es una medida de la cantidad de semillas compradas que poseen la misma composición genética que el cultivar elegido.

El factor sanidad se refiere a que las semillas deben estar libres de hongos, insectos y semillas de malezas, para así evitar la propagación de estos organismos.

Respecto a las potencialidades o calidad fisiológica de la semilla, las pruebas de viabilidad y germinación evalúan que las semillas estén vivas y posean el potencial de germinar, generando plántulas normales, cuando son expuestas a condiciones favorables. Una buena semilla de maíz debe tener una germinación mayor a 88% (ZOCCO, 2006).

El vigor, por su parte, se refiere a todas aquellas propiedades de la semilla que determinan la rapidez, uniformidad en la emergencia y desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones, las que, a diferencia de las prueba de germinación, pueden alejarse del óptimo para la especie.

Todos estos factores influyen en que de cada semilla salga una plántula. Sin embargo, los que se ven más afectados cuando ocurre una pérdida de calidad son la germinación y el vigor; y para evaluarlos periódicamente se ha creado una prueba de germinación estándar y varias pruebas de vigor. Las que se describen a continuación.

2.5 Pruebas de viabilidad

La viabilidad de la semilla es uno de los principales atributos a considerarse en cualquier evaluación de calidad y, en ese sentido, la metodología para el análisis de germinación ha alcanzado un grado de refinamiento tal, que en la actualidad los resultados son altamente confiables y comprobables (FUNDEAGRO, 1989).

2.5.1 Prueba de germinación estándar (PGE)

La PGE es el método principal y más aceptado para calificar un lote de semillas, ya que evalúa la viabilidad y germinación de ellas bajo condiciones estándares favorables (PERETTI, 1994). Según el mismo autor, el

objetivo primordial de este test es determinar la potencialidad de los lotes de semillas para desarrollar plántulas normales y producir una implantación rápida y homogénea del cultivo.

En la PGE se realiza un primer conteo preliminar de plantas germinadas y otro final, que otorga el tiempo suficiente a las semillas para que hasta las más débiles puedan germinar. Ambos conteos se llevan a cabo según las recomendaciones hechas por la ISTA (1999) en relación al tiempo de evaluación necesario para cada especie, para maíz es a los 4 y 7 días (PERETTI, 1994).

La germinación no tiene graduación; esto quiere decir que no existen semillas a medio germinar, por lo que una semilla es considerada como germinada o no. Sin embargo, a pesar de esto, la evaluación de las semillas se realiza de acuerdo con las reglas ISTA, que considera germinadas aquellas semillas que dieron origen a plántulas normales, es decir aquellas cuyo aspecto pone de manifiesto su capacidad para continuar su desarrollo normalmente. Las plántulas morfológicamente anormales se excluyen del resultado del ensayo de germinación, aunque todas las estructuras estén presentes y muestren un desarrollo equilibrado (Perry, 1984 citado por CONTRERAS y BARROS, 2003).

La PGE tiene tres limitantes (CONTRERAS y BARROS, 2003):

1. Como es hecha en laboratorio, bajo condiciones controladas favorables, puede predecir bien la emergencia en el campo cuando las

condiciones en él son cercanas al óptimo. Sin embargo, cuando las condiciones son subóptimas, la prueba puede diferir significativamente, entregando un valor que sobreestima la emergencia real de los lotes de semillas. Esto puede conducir a conclusiones erradas sobre el comportamiento potencial de los lotes.

2. Dependiendo del tiempo y las condiciones en que las semillas son almacenadas, su calidad puede disminuir. El primer componente que muestra señales de deterioro es el vigor, pero esto no es detectado por la PGE en los primeros estados de envejecimiento.

3. Finalmente, esta prueba no mide la rapidez y uniformidad con que germinan las semillas.

Por estas razones se crearon las pruebas de vigor que constituyen un índice de mayor sensibilidad acerca de las cualidades de las semillas. Así, cualquier evento que preceda a la pérdida de germinación puede servir como base para una prueba de vigor.

2.6. Pruebas de vigor

En 1977 el Instituto de Investigación y Ensayo en Semillas definió el vigor como "la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel potencial de actividad y desarrollo de ésta o de un lote,

durante la germinación y emergencia de las plántulas”. Por otro lado, en 1983 la Association of Official Seed Analysts (AOSA) definió como vigor “aquellas propiedades de las semillas que determinan la rapidez, uniformidad potencial de emergencia y desarrollo de plántulas normales, bajo un amplio rango de condiciones de campo” (PERETTI, 1994).

Así, el vigor de una semilla será un indicador de su rapidez de germinación y emergencia, lo que en gran medida, determinará el éxito de establecimiento de un cultivo. Mientras más vigorosa sea ésta, más rápida, uniforme y con mayor número de plántulas normales podrá ser su germinación y emergencia (CONTRERAS y BARROS, 2003).

Las pruebas de vigor son más sensibles a la pérdida de calidad de las semillas que la PGE, porque hacen que se manifiesten las diferencias potenciales de los lotes. Sin embargo, sus resultados no necesariamente entregan un pronóstico de la emergencia, sino que dan oportunidad al consumidor de determinar si un lote de semillas es superior a otro. El grado de esta superioridad estará dado por la constitución genética del lote de semillas, las condiciones ambientales que hubo durante su período de desarrollo en la planta madre, las características del almacenamiento y, finalmente, por las condiciones de estrés ambiental que ocurran en el campo, en el año en que las semillas son sembradas. Dichas condiciones pueden ser tan severas que impidan la emergencia, incluso para los lotes de semillas más vigorosas (PERETTI, 1994).

Es por esto que una prueba de vigor sólo indicará el probable comportamiento comparativo de los lotes de semillas entre sí cuando las condiciones sean subóptimas, al mismo tiempo que identificará aquellos lotes que presentan máximos niveles de tolerancia y adaptabilidad a dichas condiciones. Por lo tanto, se podría determinar que las pruebas de vigor entregan una calificación del comportamiento potencial de un lote de semillas en el campo, que permiten al consumidor decidir el precio justo del mismo y finalmente, decidir informadamente sobre el uso de las semillas y sus opciones de almacenamiento para prevenir pérdidas económicas importantes (DELOUCHE, 1971).

Según Benett (2002) citado por CONTRERAS y BARROS (2003), las pruebas de vigor, para ser consideradas como sistemas de evaluación eficiente de lotes de semillas, deben:

1. Entregar un índice de mayor sensibilidad que una PGE, en relación con la calidad de las semillas.
2. Entregar una calificación consistente del comportamiento de los lotes de semillas y su correlación con el comportamiento de campo.
3. Ser objetivas, rápidas, simples y económicas.
4. Ser reproducibles e interpretables

Las pruebas de vigor han sido clasificadas de diversas maneras, pruebas directas e indirectas, pruebas bioquímicas y fisiológicas. DELOUCHE (1971), agrupa a las pruebas de vigor en tres categorías:

1. Pruebas que evalúan daños de los sistemas básicos biológicos/bioquímicos:

Por ejemplo, la degradación de las membranas como reflejada en la conductividad, resistencia, turbidez y acidez del agua de imbibición de las semillas, tasa de respiración y coeficiente respiratorio, reacción de tetrazolio y la actividad de otros sistemas de enzimas.

2. Pruebas que miden la velocidad e intensidad de las actividades y respuestas fisiológicas:

Por ejemplo, velocidad de germinación, crecimiento y desarrollo de plántulas, peso verde y/o seco de plántulas.

3. Pruebas que miden cambios en la resistencia o tolerancia a condiciones de estrés:

Por ejemplo, la prueba de frío para semillas de maíz (frío, suelos húmedos), pruebas de germinación bajo frío para algodón (temperaturas frías sub-óptimas), pruebas de envejecimiento acelerado y deterioro controlado, pruebas de arena o ladrillo molido (alto impedimento mecánico).

2.6.1 Prueba de frío (PF)

Este es uno de las primeras pruebas de vigor ensayados y uno de los más aceptados. Diseñada inicialmente para maíz, ha sido adoptado para otras semillas como soya, sorgo, cebolla, etc. (PERETTI, 1994).

En esta prueba las semillas son sometidas a condiciones de estrés debido a la acción combinada de bajas temperaturas y patógenos presentes en el suelo en que va a ser sembrada. El efecto del frío se da sobre las enzimas a quienes inactivan, también congelan los coloides de las células incrementando su tamaño inclusive pueden llegar a romper las células causando la muerte celular. Se mide la germinación para estimar como toleró la semilla el estrés de frío (DELOUCHE, 1971).

Los resultados entregados por esta prueba, en especies como maíz y soya, han mostrado una buena correlación con la emergencia en el campo (PERETTI, 1994).

Para realizar una prueba de frío en maíz, se procede a colocar las semillas dentro de una caja plástica, sobre tierra proveniente del campo en que regularmente se siembra el cultivo. Esta caja se cierra y se guarda en una cámara a 10°C, en oscuridad durante siete días, al estar las semillas sometidas a bajas temperaturas permitirán determinar que semillas soportaron mejor el frío. Luego se trasladan a una cámara de germinación a 25°C, con luz durante ocho horas diarias y seis días. Finalmente, los resultados obtenidos se expresan en porcentaje de plántulas normales emergidas (CONTRERAS y BARROS, 2003).

Además, para disminuir el espacio y la cantidad de tierra utilizada, esta prueba ha sufrido una modificación que consiste en sembrar las semillas

sobre papel secante con suelo, en vez de en cajas plásticas (CONTRERAS y BARROS, 2003).

2.6.2 Ensayo topográfico con tetrazolio (ETZ)

La prueba topográfica con tetrazolio es un análisis bioquímico que permite determinar en forma rápida la viabilidad de las semillas y da una referencia de su poder germinativo (PERETTI, 1994).

El análisis con tetrazolio se basa sobre el principio que todo tejido vivo contiene enzimas deshidrogenasas activas que catalizan reducciones químicas. Al entrar en contacto el cloruro o bromuro de 2, 3,5 - trifenil tetrazolio con las células vivas de la semilla se reduce en una sustancia roja estable y no difundible, la trifenil - formasan. Esto hace posible distinguir entre las partes vivas y las muertas en una semilla. Además de las células viables completamente teñidas o de las células muertas sin teñir, se pueden presentar semillas parcialmente teñidas. La proporción de las áreas necróticas en el embrión, determinan si la semilla se clasifica como viable o no viable (PERETTI, 1994).

La prueba bioquímica de tetrazolio también es útil para detectar el daño mecánico en las semillas producido por una exposición a fuerzas físicas durante la cosecha o el beneficio. Este tipo de daño puede tener consecuencias serias en el crecimiento del cultivo subsiguiente (SAMANIEGO, 2000).

Según PERETTI (1994), el ensayo para maíz consiste de cuatro etapas:

Etapa I: Remojo de los granos durante 4 a 6 horas a temperatura ambiente, o entre papeles de filtro humedecidos, durante 16 a 18 horas, a 25°C, o a temperatura ambiente;

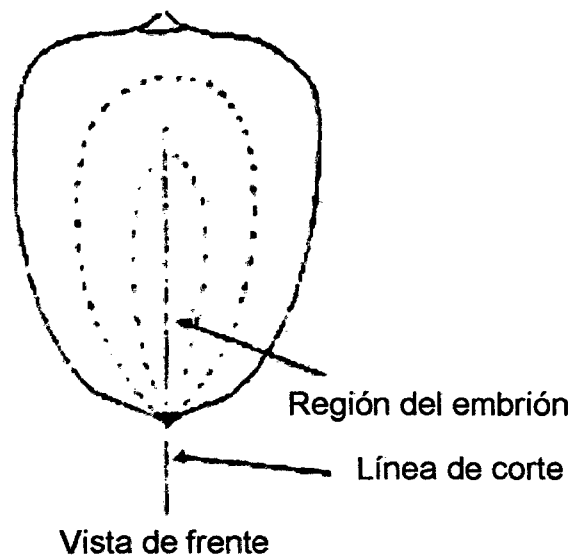


Figura 2. Corte longitudinal del cariopse a lo largo del embrión, previo a la inmersión en la solución de tetrazolio (PERETTI, 1994).

Etapa II: Corte longitudinal del cariopse a lo largo del embrión y de la mayor parte del endospermo (Figura 2), sin separar las dos mitades, las cuales serán mantenidas húmedas;

Etapa III: Coloración en la solución de tetrazolio al 0.5 ó 1% durante 2 a 6 horas (4 horas son un buen lapso), a 30 - 35°C, en oscuridad;

Etapa IV: Lavado con agua y "lectura" de las dos superficies de cada semilla y evaluación. Son viables totalmente teñidos, o los que presentan no teñidas pequeñas áreas de la radícula y/o 1/3 de los extremos del escutelo, según los siguientes patrones (Figura 3).

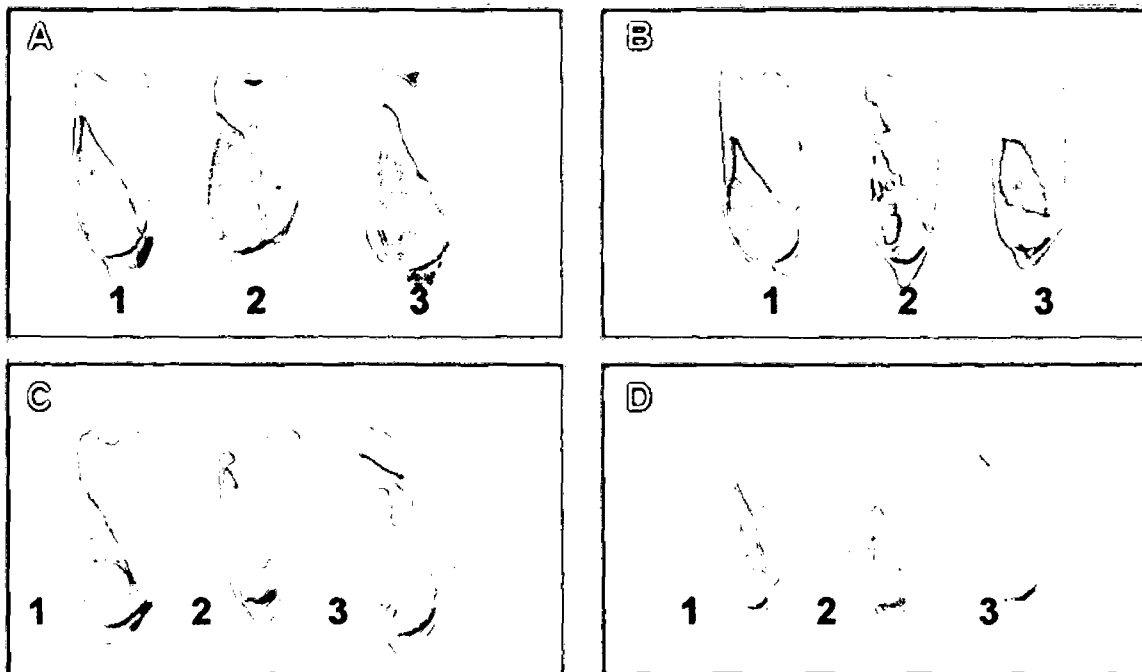


Figura 3. Patrón de tinción usado para la lectura de semillas en la prueba con tetrazolio (PERETTI, 1994).

El patrón de tinción es una guía indispensable para la lectura de los resultados en el ensayo topográfico con tetrazolio, la lectura es así: A.1 y A.2. Semilla viable sin defecto: embrión completamente teñido. A.3. Semilla viable con defecto leve: ligero deterioro en el eje embrionario. B.1. Semilla viable con defecto moderado: moderado deterioro del eje embrionario B.2. Semilla viable con defectos severos: plúmula y raíces seminales teñidas,

radícula y algunas áreas del escutelo sin teñir. B.3. Semilla viable con defectos severos: radícula y algunas áreas del escutelo sin teñir. Las áreas teñidas son las mínimas necesarias para germinación normal. C.1. Semilla no viable: radícula y raíces seminales sin teñir. C.2. Semilla no viable: mayor parte del embrión sin teñir. C.3. Semilla no viable: Primordio del tallo sin teñir. D.1. Semilla no viable: eje embriónico no teñido. D.2. Semilla no viable: eje embriónico y parte superior de escutelo no teñido. D.3. Semilla no viable: eje embriónico no teñido (PERETTI, 1994).

2.7 Ensayos en viabilidad y vigor de semillas

Se han realizado diversos trabajos para estudiar la germinación y el vigor de semillas, en diversos cultivos. Así, ALIZAGA, *et al.* (1994), en un trabajo con semillas de frijol para determinar la correlación entre distintas pruebas de vigor y la emergencia en campo, encontraron que la prueba de germinación estándar sobreestimó el desempeño de las semillas en campo mientras que pruebas de vigor como el "envejecimiento acelerado" lo subestimó. Sin embargo, la prueba de vigor de envejecimiento acelerado fue la que mejor se correlacionó con la emergencia en campo; demostró también que la pérdida de viabilidad o muerte de la semilla es el último estado de deterioro de las semillas.

En maíz, ALIZAGA *et al.* (1992); realizaron un estudio para comparar el vigor de las semillas con el comportamiento en campo, encontrando que la prueba de germinación estándar fue buena para estimar las diferencias de vigor entre los lotes debido a que las diferencias fisiológicas entre estos fue

alta, aclarando de que si las diferencias de vigor hubieran sido mínimas la prueba de germinación estándar no hubiera sido lo suficientemente sensible para estimar diferencias de vigor, resultados similares fueron encontrados por CONTRERAS y BARROS (2003) en semillas de lechuga. Además, ALIZAGA *et al.* (1992); encontraron que el vigor afectó significativamente la emergencia en el campo, la altura de las plantas y el número de mazorcas por planta, aunque no afectó el peso promedio de las mazorcas ni el rendimiento, este último se redujo conforme disminuyó el nivel vigor de la semilla.

En lechuga, CONTRERAS y BARROS (2003), realizaron un trabajo para correlacionar la emergencia con distintas pruebas de vigor, encontrando que las correlaciones de las pruebas de vigor con la emergencia en campo pueden ser mejores o peores según las condiciones de campo en que las semillas serán sembradas. Finalmente, recomienda que una combinación de los resultados de la PGE y una prueba de vigor "envejecimiento acelerado" podrán entregar un buen análisis del vigor y capacidad de emergencia en semillas de lechuga.

En soya, SALINAS *et al.* (2001), en un trabajo para estudiar las alteraciones producidas por el deterioro en semillas utilizando diferentes pruebas de vigor, encontraron que lotes de semillas con porcentajes de germinación altos determinados en la PGE pueden presentar bajo establecimiento en campo si las condiciones son desfavorables. Además, estableció que la clasificación de la viabilidad y el vigor a través de la prueba de tetrazolio está dada por el lugar donde se produce el daño y no por el tipo de

daño que sufre la semilla, siendo el ensayo topográfico con tetrazolio capaz de detectar diferencias mínimas de vigor entre lotes de semillas no así la PGE.

Los cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación, fueron estudiados por MOLINA *et al.* (2003), ensayo en que determinó que el mejor indicador de la máxima calidad fisiológica es la capa negra. Además, encontró que en la prueba de frío los porcentajes de germinación fueron ligeramente inferiores a los obtenidos en la PGE, demostrando para este caso que la PF no fue útil para detectar las semillas con mayor vigor para establecerse en campo. También comprobó que las bajas temperaturas no imponen una condición adversa, sino una condición promotora de la germinación en algunas variedades de maíz.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El experimento se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, geográficamente situado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y departamento de Huánuco; cuyas coordenadas UTM, son: N 8969798, E 0390695, con una altitud media de 660 msnm y temperatura media de 23,9°C, precipitación promedio anual de 3,629 mm y humedad relativa promedio de 84%.

3.2 Metodología

Se realizaron las pruebas de laboratorio, según las técnicas y procedimientos descritos por el ISTA (Instituto Internacional de Investigación y Ensayo de Semillas) y recopiladas por PERETTI (1994).

3.2.1 Pruebas de viabilidad

A. Prueba de germinación estándar

Materiales

- Papel toalla
- Semilla de maíz (150 por cada lote)
- Agua destilada

- Pulverizador de mano
- Cuaderno de apuntes

Procedimiento

- a. Colocar dos capas de papel toalla y humedecerlas con agua destilada.
- b. Colocar las semillas de maíz uniformemente distanciadas.
- c. Colocar sobre las semillas doble capa de papel toalla.
- d. Humedecer con agua usando el pulverizador de mano y luego envolverlo suavemente sin presionar, formando una especie de cartucho.
- e. Evaluar las plántulas normales y anormales emergidas al transcurrir 4 y 7 días.

3.2.2 Pruebas de vigor

B. Ensayo topográfico con tetrazolio

Materiales

- Sal cloruro de trifenil tetrazolio (0.5%).
- Semilla de maíz (150 por cada lote).
- Patrón de tinción para maíz.
- Papel toalla (21 x 37cm).

Procedimiento

- a. Remojar las semillas durante 5 horas a temperatura ambiente;
- b. Cortar longitudinalmente el cariopse a lo largo del embrión y de la mayor parte del endospermo, sin separar las dos mitades, las cuales serán mantenidas húmedas;
- c. Coloración en la solución de tetrazolio al 0,5% durante 4 horas, a 35°C, en oscuridad;
- d. Lavar las semillas en agua destilada y colocarlos sobre papel filtro húmedo hasta la evaluación.
- e. Lectura de las dos superficies de cada semilla y evaluación, de acuerdo al patrón de tinción para maíz (Figura 3).

C. Prueba de frío

Materiales

- Cajas de plástico (3 para cada lote).
- Semilla de maíz (200 por cada lote).
- Tierra de campo agrícola.
- Estufa.
- Frascos de café de metal.
- Refrigeradora

Procedimiento

a. Secar bajo sombra el suelo agrícola (sustrato) y tamizar con una criba de 5 mm de luz de malla.

b. Determinar el contenido de humedad del suelo. Para ello pesar un frasco vacío (tipo de café) (PF), se llena de sustrato y se vuelve a pesar y, por diferencia se determina el peso de suelo antes de secado (PSH). La muestra se pone a estufa a 105°C durante 24 horas, después de lo cual se pesa de nuevo y por diferencia se obtiene el peso del sustrato seco (PSS). El porcentaje de humedad (%H) se calcula según la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de H} = \frac{\text{Pérdida de humedad}}{\text{Peso seco del sustrato}} \times 100 = \frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} \times 100$$

c. Determinar la capacidad de retención de agua del sustrato (WHC). Para ello usar frascos de café con 12 pequeñas aberturas en el fondo. Pesar el frasco vacío (PF), añadir una cantidad conocida de suelo seco por 24 horas a 105°C y agregar agua hasta el tope (saturación). Pesar. Se deja drenar durante 30 minutos (cuidado que no haya corriente de aire), luego el drenaje continúa por 24 horas encerrando todo el sistema (frasco, sustrato, embudo, más contenedor de base) en una bolsa de plástico, a temperatura ambiente. Se pesa el frasco más el sustrato después del drenaje y se calcula la WHC usando la siguiente fórmula:

$$\text{WHC} = \frac{\text{Peso del agua retenida por el sustrato}}{\text{Peso del sustrato secado}} \times 100$$

d. Colocar el sustrato en las cajas de plástico y nivelar a 4 cm de espesor. Según su contenido de humedad y su WHC adicionar suficiente agua para llegar a un 40% de su capacidad de retención de agua.

e. Colocar las semillas en las cajas sobre el sustrato debidamente humedecido y presionar suavemente. Colocar 50 semillas por caja, es decir se tendrán 2 repeticiones de cada lote.

f. Envolver cada caja con bolsas de polietileno y guardar en la heladera a 10°C, en oscuridad durante 7 días.

g. Trasladar las cajas a una estufa a 25°C, con luz durante 8 horas diarias durante 6 días; como lo recomienda PERETTI (1994).

3.2.3 Prueba en campo

Materiales

- 450 semillas de maíz
- Maseteros plásticos
- Sustrato de campo

Procedimiento

a. Sembrar las semillas de maíz en bandejas plásticas (34 × 16 × 12 cm) en sustrato de campo a una profundidad de 2 cm. con distanciamiento uniforme.

b. Las evaluaciones se realizaron a los 6 y 13 días después de la siembra.

3.3 Componentes en estudio

Pruebas de viabilidad, vigor y de campo (B):

a_1 = Prueba de germinación estándar (PGE)

a_2 = Ensayo topográfica por tetrazolio (ETZ)

a_3 = Prueba de frío (PF)

a_4 = Prueba en campo (PC)

Tres estados de semilla (A):

b_1 = Semilla fresca (recién cosechada, var. no identificada).

b_2 = Semilla no fresca (procedente del mercado, var. no identificada).

b_3 = Semilla certificada (tienda comercial, var. 'Marginal 28T').

3.4 Tratamientos en estudio

Para cada prueba de laboratorio y de campo se realizó ensayos independientes, tal como lo muestra el Cuadro 1:

3.5 Diseño experimental

Para cada prueba de viabilidad, vigor y de campo; se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos (estados de semillas) y tres repeticiones por tratamiento. Constando de 50 semillas cada repetición.

Cuadro 1. Cuadro de tratamientos.

| Ensayo | Prueba | Semilla | Tratamiento | Descripción |
|---------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------|
| 1. | PGE | Fresca | T ₁ | PGE + Fresca |
| | | No fresca | T ₂ | PGE + No fresca |
| | | Certificada | T ₃ | PGE + Certificada |
| 2. | ETZ | Fresca | T ₁ | ETZ + Fresca |
| | | No fresca | T ₂ | ETZ + No fresca |
| | | Certificada | T ₃ | ETZ + Certificada |
| 3. | PF | Fresca | T ₁ | PF + Fresca |
| | | No fresca | T ₂ | PF + No fresca |
| | | Certificada | T ₃ | PF + Certificada |
| 4. | PC | Fresca | T ₁ | PC + Fresca |
| | | No fresca | T ₂ | PC + No fresca |
| | | Certificada | T ₃ | PC + Certificada |

PGE = Prueba de germinación estándar
ETZ = Ensayo topográfica por tetrazolio
PF = Prueba de frío
PC = Prueba en campo

3.5.1 Estimación de medidas de tendencia central, de dispersión y comparación de medias

Se determinó estadísticos de tendencia central (\bar{X}) y de dispersión (DS y CV) entre las distintas pruebas de laboratorio y la prueba de campo. Por otro lado, para la comparación de medias se usó la prueba de Duncan con un nivel de confianza de 95%.

3.5.2 Coeficiente de correlación

Finalmente se determinó el coeficiente de correlación (r) entre las distintas pruebas de laboratorio y la prueba en campo en condiciones parcialmente controladas. Este coeficiente cuantificó la asociación que existe entre dos variables, es decir, cuánto de la variabilidad de una es explicada por la variabilidad de la otra; indicando el nivel de dependencia que existe entre una prueba de laboratorio y la prueba en campo en condiciones. Para determinar el coeficiente de correlación, se usó la fórmula siguiente:

$$r = \frac{\Sigma(X - \bar{x})(Y - \bar{y}) / (n-1)}{\sqrt{\Sigma(X - \bar{x})^2 / (n-1) : \Sigma(Y - \bar{y})^2 / (n-1)}}$$

Donde:

r = Coeficiente de correlación

x, y = Datos para la correlación

El coeficiente de correlación siempre está acotado entre valores -1 y 1. Así:

- Si el coeficiente de correlación es cercano a 0, quiere decir que existe total independencia entre las variables; por lo tanto, lo que ocurre con una no explica lo que ocurre con la otra.

- Si el coeficiente es cercano a -1 ó 1, quiere decir que la variación de una es explicada por la variación de la otra. De esta forma, si el coeficiente es negativo o inverso, indica que la explicación de una variable sobre la otra está dada porque a medida que una aumenta, la otra disminuye. Si el coeficiente es

positivo o directo, indica que la explicación de una variable sobre la otra está dada porque a medida que una aumenta, la otra también aumenta.

3.6. Observaciones registradas

3.6.1 En la prueba de germinación estándar

Se realizó dos evaluaciones: la primera al cuarto día y la segunda al séptimo día después de la siembra. En el recuento se determinó el número de plántulas que integran cada una de las siguientes categorías descritas por PERETTI (1994):

a. Número de plántulas normales: Son aquellas cuyo aspecto supone capacidad para seguir desarrollándose normalmente, presentan en buen estado los órganos esenciales. Es decir el sistema radicular bien desarrollado sin ninguna anomalía y eje embrionario bien desarrollado. Además se considerarán plántulas con leves defectos o con infecciones secundarias.

b. Porcentaje de germinación: El porcentaje de germinación se obtuvo tomando como base el total de plántulas normales, aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{Número de plántulas normales} \times 100}{\text{Número total de semillas}}$$

c. Número de plántulas anormales: Son aquellas que no pueden desarrollar plantas normales por presentar uno o varios defectos, como: raíz primaria ausente, deforme, fisurada, con geotropismo negativo, etc.;

coleoptilo ausente, dañado o roto; primeras hojas ausentes o deformes; plántulas amarillentas o blancas; etc.

d. Número de semillas duras: Son aquellas semillas que al finalizar el ensayo permanecieron duras, tal como al inicio. Es decir que no ha ocurrido la hidratación de la semilla.

e. Número de semillas frescas no germinadas: Aquellas semillas que al finalizar el ensayo se encuentran hinchadas e imbibidas de agua, pero no germinan ni entran en estado de putrefacción; debido generalmente por problemas de dormición.

f. Número de semillas muertas: Son aquellas semillas no viables, que se deshacen al ser apretadas al final del ensayo. La imbibición ocurre pero la semilla no germina porque presenta un deterioro irreversible.

g. Número total de semillas germinadas: Se determinó sumando el total de plántulas normales más el total de plántulas anormales.

3.6.2 En el ensayo topográfico con tetrazolio

La evaluación se realizó primero sobre la superficie externa de todo el embrión. La viabilidad de cada semilla se determinó por comparación de su color con un patrón de tinción (PERETTI, 1994), considerando:

- a. Tamaño de la región coloreada.
- b. Intensidad de la coloración.
- c. Presencia o ausencia de manchas irregularmente distribuidas.

Según lo observado y comparado con el patrón de tinción (Figura 3), se cuantificó el número total de semillas viables determinado por el total de semillas viables sin defectos, viables con defectos leves, viables con defectos moderados y viables con defectos severos; cuyo resultado se llevó a porcentaje, aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Número de semillas coloreadas}}{\text{Número total de semillas}} \times 100 = \% \text{ de germinación}$$

Según lo observado y comparado con el patrón de tinción, se determinó el número total de semillas vigorosas determinado por el total de semillas viables sin defectos (completamente teñidos) y número de plántulas normales determinado por el total de semillas viables sin defectos y viables con defectos leves, según lo observado y comparado con el patrón de tinción (Figura 3).

3.6.3 En la prueba de frío

Se realizaron dos evaluaciones, a los 6 y 13 días después de la refrigeración. En cada recuento se anotó el número de plántulas que integran categorías de plántulas normales, anormales, semillas muertas tal como en la prueba de germinación estándar (PERETTI, 1994); según las características que se describen a continuación:

a. Número de plántulas normales: Son aquellas cuyo aspecto supone capacidad para seguir desarrollándose normalmente, presentan en

buen estado los órganos esenciales. Es decir el sistema radicular bien desarrollado y eje embrionario bien desarrollado. Además se consideraron plántulas con leves defectos o infecciones secundarias.

b. Porcentaje de germinación: El porcentaje de germinación se obtuvo tomando como base el total de plántulas normales, aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{Número de plántulas normales}}{\text{Número total de semillas}} \times 100$$

c. Número de plántulas anormales: Son aquellas que no pueden desarrollar plantas normales por presentar uno o varios defectos, como: raíz primaria ausente, deforme, fisurada, con geotropismo negativo, etc.; coleoptilo ausente, dañado o roto; primeras hojas ausentes o deformes; plántulas amarillentas o blancas; etc.

d. Número de semillas muertas: Son aquellas semillas no viables, que se deshacen al ser apretadas al final del ensayo. La imbibición ocurre pero la semilla no germina porque presenta un deterioro irreversible.

3.6.4 Prueba en campo

Se realizaron dos evaluaciones, a los 6 y 13 días después de la siembra, tal como lo reporta ALIZAGA *et al.* (1992). En cada recuento se anotó el número de plántulas que integran categorías de plántulas normales, anormales, semillas muertas descritas en la prueba de germinación estándar (PERETTI, 1994); según las características que se describen a continuación:

a. Número de plántulas normales: Son aquellas cuyo aspecto supone capacidad para seguir desarrollándose normalmente, presentan en buen estado los órganos esenciales. Es decir el sistema radicular bien desarrollado sin ninguna anomalía y eje embrionario bien desarrollado. Además se considerarán plántulas con leves defectos o con infecciones secundarias.

b. Porcentaje de germinación: El porcentaje de germinación se obtuvo tomando como base el total de plántulas normales, aplicando la fórmula enunciada para la prueba en frío.

c. Número de plántulas anormales: Son aquellas que no pueden desarrollar plantas normales por presentar uno o varios defectos, como: raíz primaria ausente, deforme, fisurada, con geotropismo negativo, etc.; coleoptilo ausente, dañado o roto; primeras hojas ausentes o deformes; plántulas amarillentas o blancas; etc.

d. Número de semillas muertas: Son aquellas semillas no viables, que se deshacen al ser apretadas al final del ensayo. La imbibición ocurre pero la semilla no germina porque presenta un deterioro irreversible.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 De las pruebas de viabilidad

4.1.1 Prueba de germinación estándar

Según los resultados obtenidos en la prueba de germinación estándar (PGE) en concordancia con la prueba de "F" del análisis de variancia (Cuadro 2), se determinó que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que existen diferencias estadísticas significativas entre los lotes de semillas de maíz estudiados en cuanto al número de plántulas anormales y semillas muertas, es decir entre las semillas evaluadas se encontró diferencias estadísticas para ambos caracteres mencionados.

Por otro lado, para el carácter número de plántulas normales no se determinó diferencias estadísticas significativas, es decir en promedio las distintas semillas evaluados presentaron similar número de plántulas normales es decir similar porcentaje de germinación. Para constatar lo mencionado y determinar entre que lotes existe diferencias estadísticas, la prueba de Duncan será muy útil.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en la prueba de germinación estándar según la prueba de "F".

| Fuentes de variabilidad | NPN | | | NPA | | | NSM | | |
|-------------------------|-----|------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|
| | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. |
| Tratamientos | 2 | 0,44 | NS | 2 | 16,00 | S | 2 | 13,77 | NS |
| Error experimental | 6 | 1,33 | | 6 | 2,66 | | 6 | 1,33 | |
| Total | 8 | | | 8 | | | 8 | | |

NS = No significativo,
S = Significativo,

NPN = Número de plántulas normales,
NPA = Número de plántulas anormales,
NSM = Número semillas muertas.

Según los resultados obtenidos en la prueba de germinación estándar entre papel toalla (Cuadro 3 y Figura 4) y de acuerdo a la prueba de Duncan para un nivel de confianza del 95%, no se pudo determinar diferencias estadísticas significativas en cuanto al número de plántulas normales en los tres lotes de semillas de maíz; es decir los tres lotes obtuvieron en promedio similar número de plántulas normales y a ello equivalente porcentaje de germinación; así en el lote semilla fresca el número de plántulas normales fue de 45,33, en el lote semillas no fresca fue de 44,67 y en el lote semilla certificada fue de 45,33 el total de número de plántulas normales que se determinó como promedio de una muestra de 150 semillas por estado. Por lo tanto, el porcentaje de germinación resultó ser estadísticamente similar entre los lotes, siendo 90,67% en los estados de semillas "frescas" y "certificadas" y 89,33% en el estado "no fresca".

Estos resultados indican que se trata de tres lotes que no presentan diferencias marcadas en cuanto a su calidad fisiológica, perdiendo sensibilidad la PGE para detectar tales diferencias, tal como lo reporta ALIZAGA (1992). Aunque, entre estos lotes de semillas de maíz existan diferencias en cuanto a la constitución genética, técnica de producción, tiempo de cosecha y condiciones de almacenamiento, los resultados de esta prueba señalan que el lote semilla "no fresca" no recibió condiciones de almacenamiento inadecuados que hayan mermado su calidad fisiológica.

El deterioro de la semilla produce la pérdida paulatina del vigor, causando finalmente la muerte de la semilla (DELOUCHE, 1971). La no viabilidad es el resultado final del deterioro de la semilla, a ello se debe que semillas del lote "no frescas" presenten daños en el embrión pero que aún no han ocasionado la muerte solo han mermado el vigor; reportando un alto número de semillas germinadas tan igual que el lote de semilla certificada y fresca.

En cuanto al número de plántulas anormales (Cuadro 3 y Figura 4), si se determinó diferencias estadísticas entre los estados de semillas de maíz evaluados, es decir los tres lotes obtuvieron en promedio diferente número de plántulas anormales; así en el lote semilla fresca no se obtuvo ni una sola plántula anormal, en el lote semillas no fresca fue de 4,00 y en el lote semilla certificada fue de 4,00 el total de número de plántulas anormales

determinadas como promedio de una muestra de 150 semillas por estado. Resultados que se discutirán posteriormente considerando en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Comparación de medias para los lotes de semilla de maíz, en la prueba de germinación estándar (Duncan, $\alpha= 0.05$).

| Estado de semilla | NPN | | NPA | | NSM | |
|-------------------|-------|---|------|---|------|---|
| Fresca | 45,33 | a | 0,00 | a | 4,67 | a |
| No fresca | 44,67 | a | 4,00 | b | 1,33 | b |
| Certificada | 45,33 | a | 4,00 | b | 0,67 | b |

NPN = Número de plántulas normales,

NPA = Número de plántulas anormales,

NSM = Número de semillas muertas.

De la misma forma se encontró diferencias estadísticas para el número de semillas muertas entre los estados de semillas de maíz evaluados (Cuadro 3 y Figura 4), es decir los tres lotes obtuvieron en promedio diferente número de semillas muertas; así el lote semilla "fresca" obtuvo en promedio 4,67 semillas muertas que fue estadísticamente diferente y superior al número de semillas muertas obtenidas para los estados no frescas y certificada que fue 1,37 y 0,67, respectivamente.

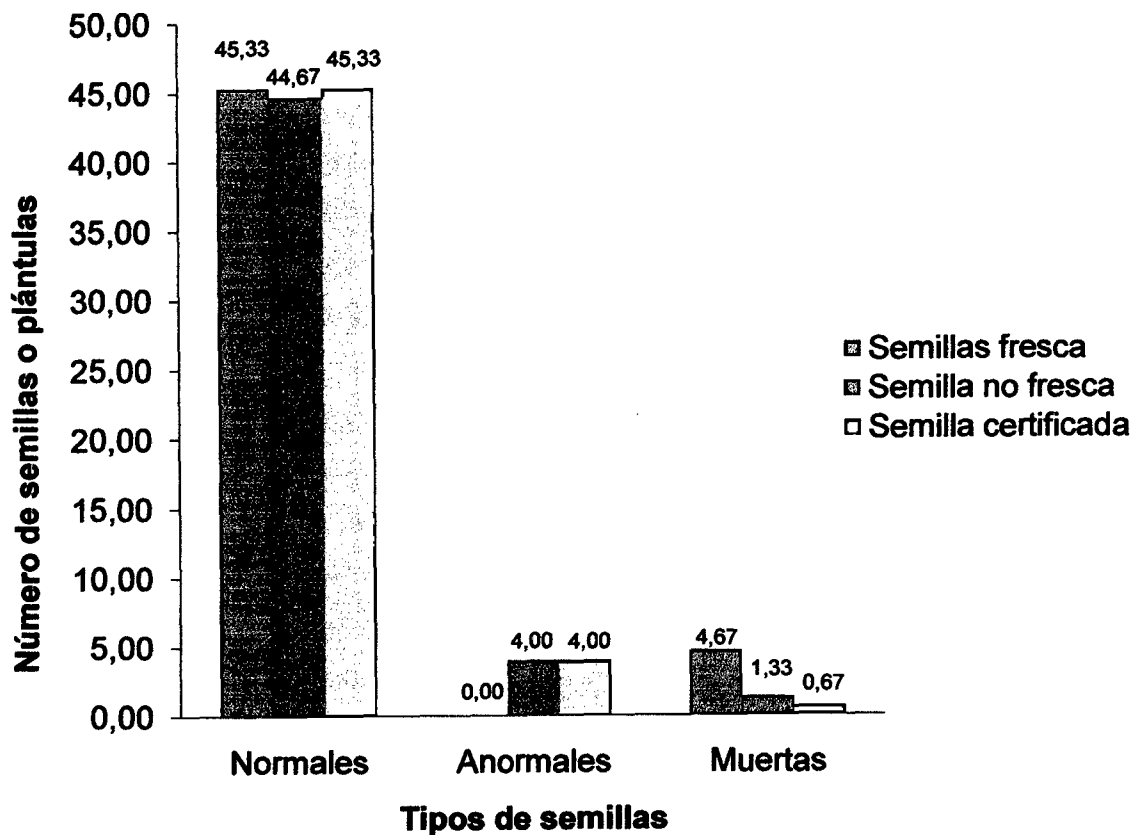


Figura 4. Promedios de los resultados obtenidos en la prueba de germinación estándar para tres tipos de semillas de maíz.

Por otro lado, de acuerdo al estudio de las distintas categorías de plántulas (PERETTI, 1994), en la prueba de germinación estándar (Cuadro 4), se observa que la mayor cantidad de plántulas normales se encontró en los lotes frescas y certificadas, seguido de no frescas; aunque estadísticamente no se pudo encontrar diferencias (Cuadros 2 y 3). Así también, el mayor número de plántulas anormales se presentó en los lotes de semillas no frescas y certificadas, mientras que en el lote frescas no se encontró ni una planta anormal.

Al analizar los distintos defectos o anomalías se encontró que todas las plántulas anormales del lote semilla certificada presentaron coleoptilo enrollado, en cambio en el lote no fresca se encontró defectos más severos y heterogéneos; aclarando que el lote semilla no fresca presenta mayores y diferentes daños en el embrión, que los demás lotes estudiados. Sin embargo, la igualdad de plántulas anormales en los lotes no frescas y certificadas indicaría que ambos lotes presentan daños en los embriones en consideraciones similares; pero analizando las distintas categorías de plántulas anormales encontramos que los embriones de las semillas del lote no fresca son los más afectados porque presentan distintos tipos de daños, que indican deterioros en diversas partes del embrión de la simiente; en cambio en el lote certificada solo se encontró plántulas anormales con coleoptilo enrollado.

En cuanto a la anomalía "coleoptilo enrollado" que se encontró en la semilla certificada, es posible que plántulas con estos defectos muestren condiciones normales de desarrollo en un estado más avanzado de su crecimiento; sin embargo debido a su defecto marcado se consideraron como plantas anormales, tal anomalía es descrita por PERETTI (1994).

Según los resultados presentados en el Cuadro 4, en el estado de semilla fresca se encontró la mayor cantidad de semillas muertas atacadas por hongos y bacterias; seguido por el lote no fresca y certificada. Hay que aclarar que todos los lotes antes de someterse a la PGE, fueron desinfectados con Homai (Thiofanate Metil más Thiram) a razón de 5 g de producto comercial/kg.

de semilla y que se aplicó a todas las repeticiones igual cantidad de agua. Entonces, que se haya encontrado mayor cantidad de semillas muertas en el lote frescas, se explica partiendo de que este lote inicialmente presentó un mayor contenido de humedad que los otros restantes y que posiblemente en el manejo de cosecha y poscosecha se provocaron roturas y daños irreversibles en el embrión, todo esto se vio favorecido por su alto contenido de humedad, ya que se obtuvo de parcelas de maíz recién cosechadas. Los productos desinfectantes de semillas suelen ser efectivos para prevenir ataques de ciertos patógenos, sin embargo existen otros microorganismos sobre el cual no tienen ningún efecto, a ello se debe que a pesar de haber desinfectado las semillas evaluadas hayan sido afectadas por microorganismos.

Toda semilla necesita imbibir un mínimo de agua para que la germinación ocurra, siendo mayor la cantidad de agua requerida por las semillas con alto contenido de proteínas y semillas como la del maíz por ser almidonosas requieren imbibir menor cantidad de agua para germinar. Siendo 30,5% el mínimo contenido de agua que necesita la semilla de maíz para poder germinar (UNALM, 2004). Entonces lo que ocurrió fue que en el lote de semilla fresca el alto contenido de humedad de la semilla más el agua adicionada, favoreció el desarrollo de hongos y bacterias que afectaron a las semillas de maíz produciendo muerte y la no germinación.

Cuadro 4. Lectura de las categorías de plántulas en la prueba de germinación estándar.

| Descripción | Número de plántulas | | |
|---|---------------------|-------------------|---------------------|
| | Semilla fresca | Semilla no fresca | Semilla certificada |
| Plántulas normales | 136 | 134 | 136 |
| Plántulas anormales | 0 | 12 | 12 |
| - Coleoptilo enrollado. | 0 | 4 | 12 |
| - Cariopse podrido. | 0 | 4 | 0 |
| - Plúmula poco desarrollada con raíz primaria y adventicia poco desarrollado. | 0 | 2 | 0 |
| - Raíz primaria corta con plúmula enrollada. | 0 | 2 | 0 |
| Semillas muertas | 14 | 4 | 2 |
| Semillas duras | 0 | 0 | 0 |
| Semillas frescas no germinadas | 0 | 0 | 0 |

La semilla de maíz presenta un alto poder germinativo y vigor apenas ha alcanzado su madurez fisiológica, sin embargo presenta un alto contenido de humedad aproximadamente un 35% (ALIZAGA, 1992). Esto más la humedad en campo provocaría una susceptibilidad al ataque de patógenos habitantes del suelo. Se deduce que el punto de maduración fisiológica sería, teóricamente, el más indicado para la cosecha, pues representa el momento en que la calidad de la semilla es máxima. Evidentemente, la cosecha de semillas en esta etapa se torna difícil, una vez que la planta todavía presenta gran

cantidad de hojas verdes. Además, el elevado contenido de agua ocasionaría daños mecánicos y habría la necesidad de utilizar un método rápido y eficiente de secado, que en la práctica no siempre está posible.

Finalmente no se encontró ninguna semilla dura y fresca no germinada en ningún lote estudiado. Debido a que las semillas de maíz no presentan estado de dormancia, no reportándose en ninguna literatura citada.

De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 5), el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación corrobora lo explicado y discutido anteriormente (Cuadro 3). Además, se deduce que el coeficiente de variación fue bajo e inferior al 5% determinado una excelente homogeneidad de variancia, lo que demuestra que los resultados obtenidos en la PGE proceden de un conjunto de datos homogéneos altamente confiables.

Observando los valores de desviación estándar (Cuadro 5) que fue numéricamente igual para todos los estados en los diferentes caracteres evaluados, se aprecia que los resultados obtenidos (Cuadro 34 del anexo), fueron para todos los estados similares en cuanto a las diferencias entre las repeticiones. De esta manera se explica que las desviaciones estándar resultaran iguales.

Cuadro 5. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de plántulas normales (NPN) en la prueba de germinación estándar.

| Estado de semilla | Variables | Promedio | Desviación estándar | Coeficiente de variación |
|--------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| Fresca | NPN | 45,33 | 1,15 | 2,55 |
| No fresca | NPN | 44,67 | 1,15 | 2,59 |
| Certificada | NPN | 45,33 | 1,15 | 2,55 |

Todos estos resultados indican, que si bien es cierto existe diferencias entre los lotes en cuanto a la constitución genética (variedad), tipo de producción (cultivo), tiempo de cosecha, tiempo y forma de almacenamiento y conservación; no obstante el efecto de estos factores no afectaron en gran manera el porcentaje de germinación. Como la muerte de la semilla (no germinación o no viable) es el último estado de deterioro de la semilla, es posible que el lote de semilla no fresca presente deterioros del embrión en mayor grado que los otros lotes, pero que dichos deterioros aún no han provocado la muerte de la semilla, pero si afectaron el vigor de las semillas (ALIZAGA, 1992), para comprobar esta hipótesis las pruebas de vigor nos serán muy útiles.

En cuanto al estado semilla fresca recién cosechada, aún no ha perdido su poder germinativo porque la semilla no ha sido almacenada por

largos periodos, como el estado no fresca. Por otro lado, el estado semilla certificada, debido a las técnicas utilizadas para su producción, almacenamiento y conservación ha mantenido su poder germinativo igualando a la semilla fresca recién cosechada.

Pero en términos generales, ningún lote de semilla estudiado tuvo un porcentaje de germinación inferior al 88%, lo que indica que todos los lotes tienen un buen porcentaje de germinación y pueden ser consideradas buenas semillas de maíz (ZOCCO, 2006), sólo tomando en cuenta el porcentaje de germinación.

Por realizarse la prueba de germinación en condiciones ideales que permitan obtener el mayor número de plántulas posible, encontrar diferencias en el potencial de germinación entre lotes de semilla es evidencia de que efectivamente presentan grados de vigor diferentes. Por el contrario cuando las diferencias de vigor son pequeñas, la prueba de germinación no posee la sensibilidad suficiente como para detectarlas (ALIZAGA, 1992). Lo que hasta el momento nos estaría mostrando que las diferencias de vigor entre los lotes de semillas de maíz estudiados son mínimas y que la prueba de germinación estándar no tiene la suficiente sensibilidad para detectar tales diferencias.

4.2 De las pruebas de vigor

4.2.2 Ensayo topográfico con tetrazolio

De acuerdo a la prueba de "F" del análisis de variancia (Cuadro 6), para el número de semillas vigorosas, número de plántulas normales, número de plántulas anormales y número de semillas muertas en los tres lotes de semillas de maíz estudiados según la prueba topográfica con tetrazolio (ETZ); se determinó que no existe diferencia estadística significativa en el número de semillas muertas, es decir que los tres lotes de semillas estudiados presentaron en promedio similar número de semillas muertas.

No obstante, si se encontró diferencias estadísticas significativas en cuanto al número de semillas vigorosas, número de plántulas normales y número de plántulas anormales; es decir que los tres lotes de semillas estudiados presentaron en promedio diferente número de semillas vigorosas, número de plántulas normales y número de plántulas anormales; lo que evidencia diferencias de vigor entre las semillas evaluadas.

De acuerdo a la prueba de Duncan para un nivel de confianza del 95% (Cuadro 7 y Figura 5), en los tres estados de semillas de maíz estudiados para los caracteres número de semillas vigorosas, número de plántulas normales, número de plántulas anormales y número de semillas muertas según la prueba topográfica con tetrazolio; se concluye que existe diferencias estadísticas significativas en los tres lotes de semillas para todos los caracteres evaluados.

Cuadro 6. Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en el ensayo topográfico con tetrazolio según la prueba de "F".

| Fuentes de variabilidad | NSVg | | | NPN | | | NPA | | | NSM | | |
|-------------------------|------|--------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|
| | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. |
| Tratamientos | 2 | 103,44 | S | 2 | 91,44 | S | 2 | 30,77 | AS | 2 | 19,11 | NS |
| Error experimental | 6 | 13,88 | | 6 | 11,44 | | 6 | 2,33 | | 6 | 4,00 | |
| Total | 8 | | | 8 | | | 8 | | | 8 | | |

NS = No significativo

S = Significativo

AS = Altamente significativo

NSVg = Número de semillas vigorosas,

NPN = Número de plántulas normales,

NPA = Número de plántulas anormales,

NSM = Número de semillas muertas.

De acuerdo a la prueba de Duncan para un nivel de confianza del 95% (Cuadro 7 y Figura 5), en los tres estados de semillas de maíz estudiados para los caracteres número de semillas vigorosas, número de plántulas normales, número de plántulas anormales y número de semillas muertas según la prueba topográfica con tetrazolio; se concluye que existe diferencias estadísticas significativas en los tres lotes de semillas para todos los caracteres evaluados.

Así se determinó diferencias estadísticas significativas entre los estados de semilla en cuanto al número de semillas vigorosas (Cuadro 7 y Figura 5); encontrando diferencias entre el lote de semillas certificadas con 47,00 NSVg con los lotes fresca y no fresca con 38,67 y 35,67 NSVg respectivamente; es decir en promedio el lote de semilla certificada obtuvo el más alto número de semillas vigorosas que los lotes restantes, demostrando

así su vigor superior respecto a los demás lotes. De igual manera, no se determinó diferencias estadísticas significativas, a pesar de que existen diferencias numéricas, entre los lotes de semilla fresca y no fresca demostrando de que en promedio ambos lotes presentaron similar número de semillas vigorosas, concluyendo que los lotes de semilla fresca y no fresca presentan similar vigor.

Cuadro 7. Comparación de medias para tres estados de semilla de maíz, en el ensayo topográfico con tetrazolio (Duncan, $\alpha= 0.05$).

| Estado de semilla | NSVg | | NPN | | NPA | | NSM | |
|--------------------------|-------------|---|------------|-----|------------|---|------------|-----|
| Certificada | 47,00 | a | 49,00 | a | 0,33 | a | 0,67 | a |
| Fresca | 38,67 | b | 42,67 | a b | 2,67 | a | 4,67 | a b |
| No fresca | 35,67 | b | 38,00 | b | 6,67 | b | 5,33 | b |

NSVg = Número de semillas vigorosas,

NPA = Número de plántulas anormales,

NPN = Número de plántulas normales,

NSM = Número de semillas muertas.

Referente al número de plántulas normales se determinó diferencias estadísticas significativas entre los lotes de semilla certificada y no fresca con 49,00 y 38,00 respectivamente (Cuadro 7 y Figura 5), es decir que en promedio estos lotes obtuvieron diferente número de plántulas normales. No encontrando diferencias estadísticas entre los lotes de semilla certificada y fresca, de igual forma no se encontró diferencias entre los lotes de semilla fresca y no fresca en cuanto al número de plántulas normales. Concluyendo que el lote de semilla certificada obtuvo el más alto número de plántulas

normales y a su vez el más alto porcentaje de germinación, igual a 98% (Cuadro 35 del anexo).

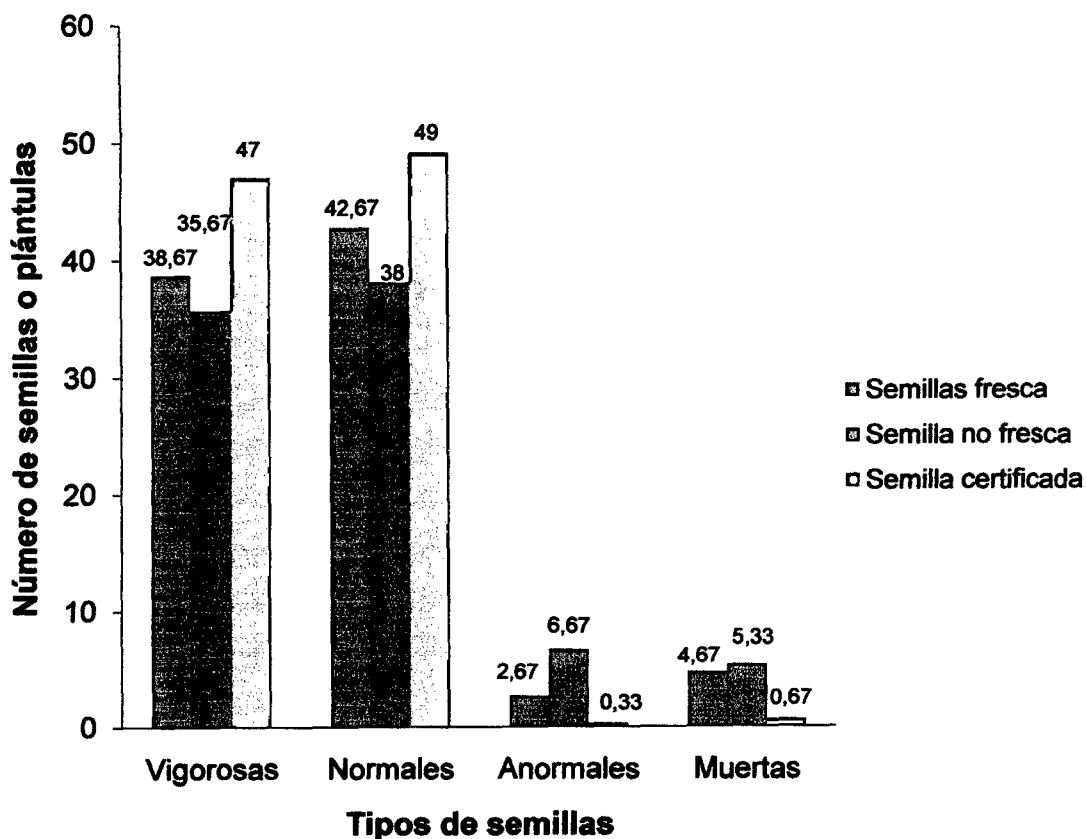


Figura 5. Promedios de los resultados obtenidos en el ensayo topográfico con tetrazolio para tres tipos de semillas de maíz.

En términos generales, con los resultados obtenidos en la prueba topográfica por tetrazolio se encontró diferencias en la calidad fisiológica (viabilidad y vigor) entre los lotes de semillas de maíz estudiados. Resultados que no fueron detectados por la PGE, por existir diferencias de viabilidad y vigor pequeñas. Se comprobó con esta prueba la superioridad del vigor y la viabilidad del lote semilla certificada frente a los demás lotes, lo que permite

especular que el manejo de producción, cosecha y pos cosecha fueron adecuados que permitieron mantener la calidad fisiológica de estas semillas.

Por otro lado, se constató un daño mayor de los embriones en el lote semilla no fresca que las frescas y certificadas, determinando que el estado no fresco obtuvo un mayor y estadísticamente diferente número de plántulas anormales (6,67) respecto al estado fresco (2,67) y certificadas (0,33) (Cuadro 7). Resultados que permiten concluir que el manejo de producción, cosecha y pos cosecha desfavoreció la calidad fisiológica de las semillas no frescas.

De forma similar, de acuerdo a la prueba de Duncan (Cuadro 7), se determinó diferencias estadísticas para el carácter número de semillas muertas a pesar que en la prueba de "F" (Cuadro 6) resultó ser no significativo. Encontrándose que el estado no fresco obtuvo un mayor y estadísticamente diferente número de semillas muertas (5,33) respecto al estado certificadas (0,67). Sin embargo no se encontró diferencias estadísticas entre el estado fresco (4,67) con el estado no fresca, aunque si numéricas.

En resumen se aprecia en el Cuadro 5, la superioridad del estado certificadas frente al estado no fresca, pues en todos los caracteres evaluados fue superior y diferente estadísticamente. Por otro lado, al comparar el estado certificadas con fresco, se concluye que ambos lotes presentan diferencias mínimas de calidad fisiológica encontrando diferencias estadísticas solo en el carácter número de semillas vigorosas.

Estos resultados indicarían que existen diferencias en cuanto a la viabilidad y vigor (calidad fisiológica), en los tres lotes de semillas de maíz estudiados. A pesar de que en la prueba de germinación estándar no se encontró tales diferencias en forma significativa. Todo ello comprobaría que el ensayo topográfico por tetrazolio es más sensible que la prueba de germinación estándar, tal como lo explica PERETTI (1994) siempre que las diferencias de vigor sean mínimas; teniendo el ensayo topográfico con tetrazolio la sensibilidad suficiente para identificar diferencias pequeñas en la calidad fisiológica entre lotes de semillas de maíz, resultados similares fueron reportados por SALINAS *et al.* (2001).

En el deterioro de las semillas los mecanismos energéticos y de síntesis son afectados: disminuye la tasa respiratoria y la actividad de muchas enzimas (DELOUCHE, 1971). El análisis por tetrazolio se basa sobre el principio que todo tejido vivo contiene enzimas deshidrogenasas activas que catalizan reducciones químicas. En presencia de enzimas deshidrogenasas la sal incolora de tetrazolio es transformada en una sustancia roja y no soluble denominada formazán (PERETTI, 1994). Al deterioro que causó la nula o baja actividad de las enzimas de la respiración se debe que hayan existido diferencias en cuanto a la calidad fisiológica entre el lote certificada y no fresca. Demostrando que las semillas del lote semilla no fresca presentan embriones más afectados que los dos lotes restantes, a pesar de que no se encontró diferencias estadísticas significativas, pero si numéricas entre el lote semilla fresca y no fresca.

Cuadro 8. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de semillas vigorosas (NSVg) y número plántulas normales (NPN), según el ensayo topográfico por tetrazolio.

| Estado de semilla | Variables | Promedio | Desviación estándar | Coefficiente de variación |
|--------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|
| Fresca | NSVg | 38,67 | 4,51 | 11,66 |
| Fresca | NPN | 42,67 | 4,93 | 11,56 |
| No fresca | NSVg | 35,67 | 4,51 | 12,64 |
| No fresca | NPN | 38,00 | 3,00 | 7,89 |
| Certificada | NSVg | 47,00 | 1,00 | 2,13 |
| Certificada | NPN | 49,00 | 1,00 | 2,04 |

En el Cuadro 8, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el ETZ hasta el momento discutidos, corroborando lo anteriormente explicado. Además, se deduce que el coeficiente de variación fue variable entre los tres lotes de semillas de maíz estudiados; existiendo sin embargo excelente, muy buena y buena homogeneidad de variancia, revelando que los resultados son confiables porque proceden de un conjunto de datos homogéneos.

4.2.2 Prueba de frío

De acuerdo a la prueba de "F" del análisis de variancia (Cuadro 9), para el número de plántulas normales, número de plántulas anormales y número

de semillas muertas en los tres lotes de semillas de maíz estudiados según la prueba de frío (PF); se determinó que no existe diferencia estadística significativa en los caracteres evaluados, es decir que los tres lotes de semillas presentaron en promedio similar número de plántulas normales, número de plántulas anormales y número de semillas muertas.

Cuadro 9. Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en la prueba de frío según la prueba de "F".

| Fuentes de variabilidad | NPN | | | NPA | | | NSM | | |
|----------------------------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. |
| Tratamientos | 2 | 2,16 | NS | 2 | 3,16 | NS | 2 | 0,50 | NS |
| Error experimental | 3 | 1,66 | | 3 | 5,66 | | 3 | 2,33 | |
| Total | 5 | | | 5 | | | 5 | | |

NS = No significativo,

NPN = Número de plántulas normales,

NPA = Número de plántulas anormales,

NSM = Número de semillas muertas.

De acuerdo a la prueba de Duncan para un nivel de confianza del 95% (Cuadro 10 y Figura 6), en los tres estados de semillas de maíz estudiados para los caracteres número de plántulas normales, número de plántulas anormales y número de semillas muertas según la prueba de frío; se concluye que no existe diferencias estadísticas significativas en los tres lotes de semillas para todos los caracteres evaluados.

Cuadro 10. Comparación de medias para tres estados de semillas de maíz, en la prueba de frío (Duncan, $\alpha= 0.05$).

| Estado de semilla | NPN | | NPA | | NSM | |
|--------------------------|------------|---|------------|---|------------|---|
| Certificada | 47,50 | a | 0,00 | a | 2,50 | a |
| Fresca | 47,00 | a | 1,50 | a | 1,50 | a |
| No fresca | 45,50 | a | 2,50 | a | 2,00 | a |

NPN = Número de plántulas normales,

NSM = Número de semillas muertas.

NPA = Número de plántulas anormales,

Así el estado de semilla certificada obtuvo en promedio 47,5 plántulas normales con un porcentaje de germinación igual a 95%, seguido del estado semilla fresca igual a 47,00 con un porcentaje de emergencia igual a 94% y en el lote de semilla no fresca de 45,5 con un porcentaje de emergencia igual a 91%. Estadísticamente no se pudo determinar diferencias aunque si numéricas.

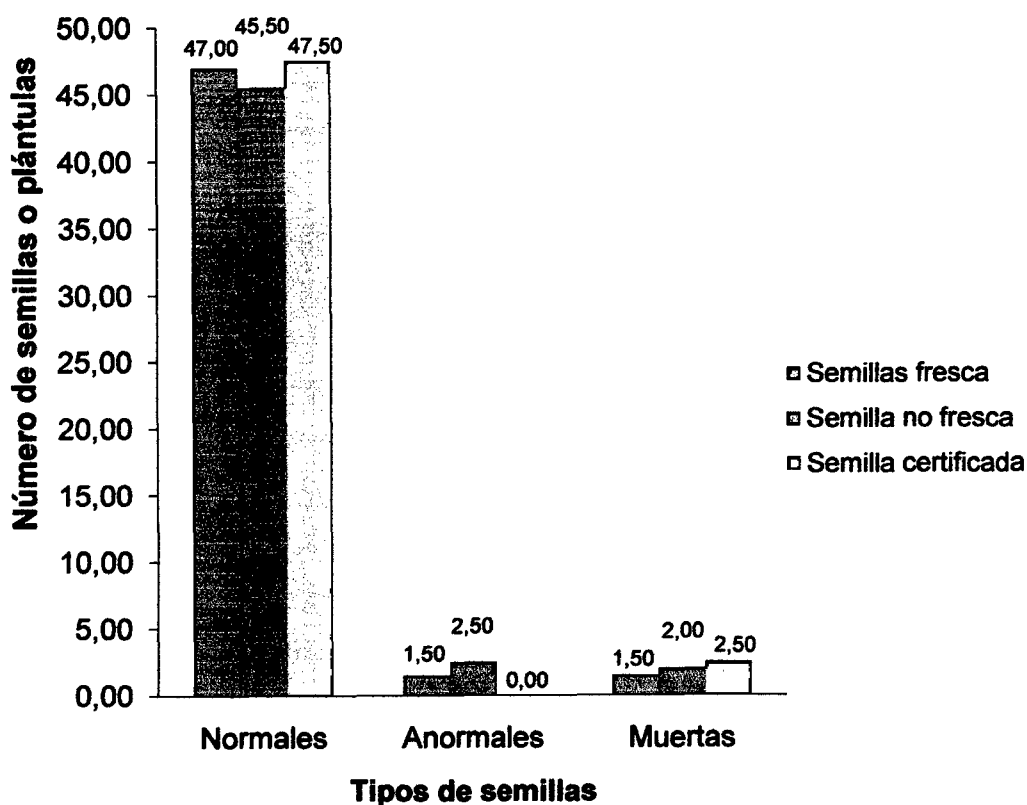


Figura 6. Promedios de los resultados obtenidos en la prueba de frío para tres tipos de semillas de maíz.

Para el número de plántulas anormales en los tres estados de semillas, también no se determinó diferencias estadísticas, consiguiendo el estado no fresca en promedio 2,50 plántulas anormales, 1,50 para el estado fresco y ni una plántula anormal en el estado de semillas certificadas.

Para número de semillas muertas en los tres estados de semillas, también no se determinó diferencias estadísticas, consiguiendo el estado certificada en promedio 2,50 semillas muertas, 2,00 para semillas no frescas y 1,50 para el estado fresco.

Estos resultados indican pequeñas diferencias de calidad fisiológica entre los estados de semillas de maíz estudiados, no detectables estadísticamente pero si numéricamente. No obstante, a diferencia de las pruebas de viabilidad y vigor anteriormente descritas, en la prueba de frío las semillas fueron sometidos a un periodo de estrés que no afectó la germinación de las semillas, siendo los resultados de emergencia mayores y menores que los encontrados en la prueba de germinación estándar, resultados similares fueron encontrados por MOLINA *et al.* (2003).

Los resultados del Cuadro 10 demuestran que las bajas temperaturas no impusieron una condición adversa para los estados de semillas, porque los porcentajes de germinación fueron tan altos como en la PGE, resultados similares aunque en otras variedades de maíz fueron encontrados por MOLINA *et al.* (2003). Esta situación es frecuente al evaluar la calidad fisiológica de semillas que han sido cosechadas en estadios de desarrollo cerca la madurez fisiológica, como lo indica el mismo autor. También existen evidencias (SALINAS, 2001) de que las bajas temperaturas no imponen una condición adversa, sino una condición promotora de la germinación como es probable que haya ocurrido con las semillas evaluadas, esto se debe a condiciones meramente genéticas.

En la prueba de frío las semillas de maíz son sometidas a estrés con una condición fría y húmeda del suelo que retarda la actividad tanto de la semilla como de los microorganismos del suelo. Sin embargo, como las

semillas están en desventaja relativamente mayor, serán más susceptibles al ataque de microorganismos causantes de pudrición. Las semillas vigorosas producirán plántulas capaces de resistir el ataque de estos microorganismos en mayor grado que las semillas débiles por un periodo de frío, lo que retarda la actividad (PERETTI, 1994). Observaciones visuales de la incidencia de enfermedades comprobó que todos los lotes estudiados presentaron 0% de incidencia, es decir no hubo síntomas visuales de enfermedad, indicios de que los lotes en estudio presentan vigores altos y similares.

De acuerdo al Cuadro 11, se aprecia que existe una excelente homogeneidad en el coeficiente de variación de los tres estados de semillas de maíz en cuanto al número de plántulas normales, de esta manera se puede decir que proceden de un conjunto de observaciones homogéneas.

Cuadro 11. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de plántulas normales (NPN), según la prueba de frío.

| Lote de semilla | Variables | Promedio | Desviación estándar | Coeficiente de variación |
|------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| Fresca | NPN | 47,00 | 0,00 | 0,00 |
| No fresca | NPN | 45,50 | 2,12 | 4,66 |
| Certificada | NPN | 47,50 | 0,71 | 1,49 |

Que el valor de desviación estándar haya sido bajo, inclusive cero en el número de plántulas normales para el estado de semilla fresca,

indica que las diferencias entre los resultados obtenidos entre las repeticiones fue mínimas y hasta no hubo diferencias, resultando una desviación estándar y coeficiente de variación igual a cero.

Cabe mencionar que el porcentaje de emergencia de los tres lotes de semillas de maíz fue superior de 80%. Esto permite suponer que las diferencias en la calidad fisiológica no fueron tan grandes como para ser detectadas categóricamente, debido a que la prueba de frío no fue lo suficientemente sensible (MOLINA *et al*, 2003).

A nivel bioquímico, el vigor involucra la capacidad que tiene un organismo en la biosíntesis de energía y compuestos metabólicos tales como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos, todo ello asociado con la actividad celular, la integridad de las membranas celulares y el transporte o utilización de sustancias de reserva. A nivel de germinación incluye rapidez, uniformidad e intensidad, así como la tolerancia de las plántulas a condiciones ambientales desfavorables. La variabilidad existente entre lotes de semillas provocada por factores como condiciones de cosecha, secado, acondicionamiento, etc., es uno de los aspectos que mas interfieren en la evaluación del vigor (PERETTI, 1994). Sin embargo, al parecer los factores mencionados afectaron a los tres lotes de semillas estudiados en diferente grado siendo no detectados por la prueba de frío, pero si por la el ensayo topográfico con tetrazolio.

En general, se considera que la pérdida de vigor en la semilla se inicia antes de que se observen mermas en su porcentaje de germinación. La reducción en la tasa de germinación se da después de que la semilla ha sufrido alteraciones en el vigor, tales como degradación de las membranas celulares y daños en los mecanismos de respiración y biosíntesis (ALIZAGA, 1994). Esto explica, que las mermas en el vigor entre los lotes de semillas de maíz estudiados no han provocado aún la muerte del embrión especialmente en el lote de semilla no fresca, que presenta embriones más dañados que los demás lotes según la prueba con tetrazolio.

Finalmente, esta prueba se realizó en condiciones desfavorables para la germinación de las semillas de maíz, sin embargo una vez superado el periodo de refrigeración las semillas rápidamente empezaron a germinar, sin diferencia entre los lotes evaluados, demostrando un buen vigor en todas las semillas evaluadas y que el enfriamiento no constituyó una condición adversa para los lotes de semillas estudiados.

4.3 Prueba en campo

De acuerdo a la prueba de "F" del análisis de variancia (Cuadro 12), para el número de plántulas normales, número plántulas anormales y número de semillas muertas en los tres lotes de semillas de maíz estudiados según la prueba de campo (PC); se determinó que no existe diferencia estadística significativa en ninguno de los caracteres evaluados. Es decir que los tres lotes

de semillas presentaron en promedio similar número de plántulas normales, plántulas anormales y número de semillas muertas

Cuadro 12. Cuadrados medios y significación de las variables en estudio, en la prueba de campo según la prueba de "F".

| Fuentes de variabilidad | NPN | | | NPA | | | NSM | | |
|-------------------------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-------|------|
| | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. | GL | CM | Sig. |
| Tratamientos | 2 | 9,33 | NS | 2 | 0,44 | NS | 2 | 13,77 | NS |
| Error experimental | 6 | 6,22 | | 6 | 0,44 | | 6 | 5,77 | |
| Total | 8 | | | 8 | | | 8 | | |

NS = No significativo.

NPA = Número de plántulas anormales.

NPN = Número de plántulas normales.

NSM = Número de semillas muertas.

Es así que en la prueba de Duncan para un nivel de confianza del 95% (Cuadro 13 y Figura 7), en los tres estados de semillas de maíz estudiados para los caracteres número de plántulas normales, número de plántulas anormales y número de semillas muertas según la prueba de campo; se concluye que no existe diferencias estadísticas significativas en los tres lotes de semillas para todos los caracteres evaluados.

Así el estado de semilla certificada obtuvo en promedio 48,67 plántulas normales con un porcentaje de emergencia igual a 97,34%, seguido del estado semilla fresca igual a 46,00 con un porcentaje de emergencia igual a 92% y en

el lote de semilla no fresca de 45,33 con un porcentaje de emergencia igual a 90,66%. Estadísticamente no se pudo determinar diferencias aunque si numéricas.

Para el número de plántulas anormales en los tres estados de semillas, también no se determinó diferencias estadísticas, consiguiendo el estado no fresca en promedio 0,67 plántulas anormales y ni una plántula anormal en el estado de semillas certificadas y frescas

Cuadro 13. Comparación de medias para los estados de semilla de maíz con respecto al número de plántulas normales (NPN), número de plántulas anormales (NPA) y número de semillas muertas (NSM), en la prueba en campo (Duncan, $\alpha = 0.05$).

| Estado de semilla | NPN | | NPA | | NSM | |
|--------------------------|------------|---|------------|---|------------|---|
| Certificada | 48,67 | a | 0,00 | a | 0,00 | a |
| Fresca | 46,00 | a | 0,00 | a | 4,00 | a |
| No fresca | 45,33 | a | 0,67 | a | 0,67 | a |

Para número de semillas muertas en los tres estados de semillas, también no se determinó diferencias estadísticas, consiguiendo el estado fresca en promedio 4,00 semillas muertas, 0,67 para semillas no frescas y 0,00 para el estado de semillas certificadas.

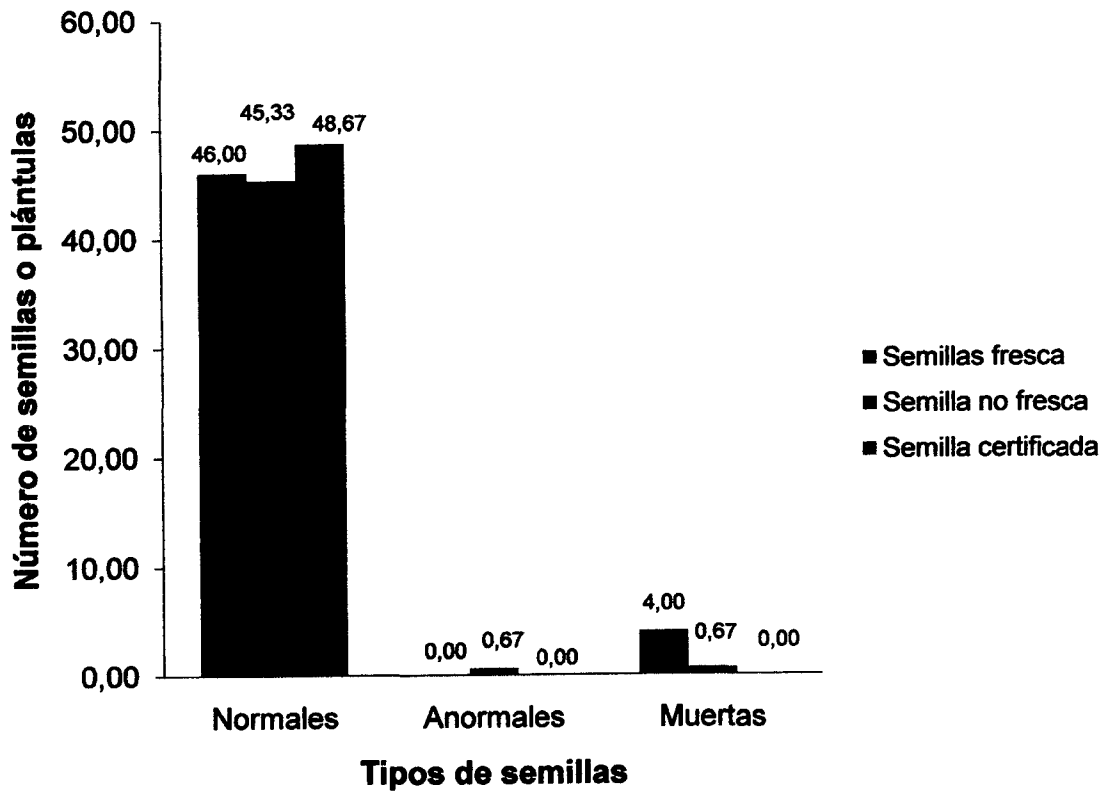


Figura 7. Promedios de los resultados obtenidos en la prueba de campo para tres tipos de semillas de maíz.

De todas las pruebas realizadas en este trabajo, la que más se asemeja a las condiciones reales de campo es la prueba de campo, que arrojó resultados que indican que no existen diferencias estadísticas, aunque si numéricas, en la calidad fisiológica de los tres lotes de semillas de maíz evaluados. Lo que comprueba la hipótesis de que las diferencias en cuanto al vigor y viabilidad en los tres lotes estudiados son mínimas no detectados estadísticamente por la prueba de germinación estándar, la prueba de frío, pero si detectadas por la prueba topográfica por tetrazolio.

Los resultados de la prueba de emergencia en campo (Cuadro 13) muestran que como consecuencia de la reducción del vigor de las semillas, hubo disminución en el porcentaje de emergencia de las plántulas en los 3 lotes, un comportamiento similar fue observado por ALIZAGA *et al.* (1992).

De acuerdo al Cuadro 14, se aprecia que existe una excelente homogeneidad en el coeficiente de variación de los tres lotes de semillas de maíz en cuanto al número de plántulas normales, de esta manera se deduce que proceden de un conjunto de observaciones homogéneas.

Cuadro 14. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del número de plántulas normales (NPN), según la prueba de campo.

| Lote de semilla | Variables | Promedio | Desviación estándar | Coeficiente de variación |
|------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| Fresca | NPN | 46,00 | 4,00 | 8,70 |
| No fresca | NPN | 45,33 | 1,15 | 2,55 |
| Certificada | NPN | 48,67 | 1,15 | 2,37 |

La prueba en campo presentó ciertas condiciones diferentes al del campo en sí, los mismos que influenciaron en el porcentaje de germinación. Tales condiciones son: densidad, cantidad y calidad de luz, plagas y enfermedades, clima y suelo, etc. Sin embargo, sirvió de referencia para aproximar el comportamiento en campo, en cuanto al porcentaje de germinación de los tres lotes de semillas de maíz estudiados.

4.4. Correlación de las pruebas de laboratorio con la prueba en campo

De acuerdo al análisis de correlación (Cuadro 15) se encontró, que no existe suficiente evidencia estadística para afirmar que existan correlaciones altas y positivas entre las pruebas de laboratorio comparadas con la prueba de campo, pero si numéricamente. Salvo en la prueba de frío para semillas certificadas, donde se obtuvo una alta significancia, determinando que estadísticamente si existe correlación alta y positiva de esta prueba con la emergencia en campo. Todo lo anterior se debió al reducido número de repeticiones que se realizaron en este ensayo. A ello se debe que la prueba de frío fue la que mejor correlacionó con la emergencia en campo.

En el análisis de correlación (Cuadro 15) se encontró, que la prueba de germinación estándar obtuvo una alta correlación positiva con la prueba en campo, aunque estadísticamente fue no significativo. Así, para semillas frescas, se determinó que el 75% de la variabilidad del porcentaje de la emergencia es explicado por el estado fisiológico de las semillas. No obstante, para semillas no frescas y certificadas, el coeficiente de correlación fue inferior, determinando que solo el 25% de la variabilidad del porcentaje de emergencia es explicado por el estado fisiológico de las semillas, en ambos lotes de semillas.

Los resultados de la prueba de germinación estándar se correlacionan bien con la prueba en campo, siempre que las condiciones no sean

desfavorables, sin embargo esto no ocurre siempre en campo (PERETTI, 1994). Pero en términos generales, cuando las condiciones son normales las correlaciones son altas. Así al observar los resultados de las correlaciones se aprecia, que la prueba de germinación estándar obtuvo una correlación alta con la emergencia en campo en el lote de semilla frescas y correlaciones bajas en el lote de semillas no frescas y certificadas, resultados que indican que no siempre los resultados de la PGE pueden correlacionarse con la emergencia en campo, estando esto en estricta dependencia de las condiciones fisiológicas de los lotes de semillas de maíz y de las condiciones de campo. Resultados similares fueron encontrados por ALIZAGA *et al.*, (1992) en semillas de maíz y CONTRERAS y BARROS (2003) en semillas de lechuga.

Por otro lado, se encontró que la prueba topográfica con tetrazolio obtuvo buena correlación con los resultados de la emergencia de plántulas en la prueba de campo, aunque estadísticamente fue no significativo. Determinando que para los tres lotes de semillas de maíz las correlaciones fueron altas y positivas. Siendo el 83% de la variabilidad del porcentaje de emergencia explicado por el estado fisiológico de las semillas en el lote de semillas frescas, de 75% para no frescas y 75% de la variabilidad del porcentaje de emergencia es explicado por el estado fisiológico de las semillas en el lote de semilla certificada.

De esta manera, se deduce que los resultados obtenidos en la prueba topográfica por tetrazolio se correlacionaron positivamente con la emergencia en campo mejor que la PGE. Es decir, que la prueba topográfica puede ser

usada como una prueba rápida para evaluar la calidad fisiológica y predecir el comportamiento en campo de lotes de semillas de maíz (PERTTI, 1994).

Cuadro 15. Coeficientes de correlación y de determinación para las pruebas de laboratorio comparados con la prueba de campo.

| Estado de semilla | PGE vs. PCCC | | ETZ vs. PCCC | | PF vs. PCCC | |
|-------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|-------------|----------------|
| | R | r ² | R | r ² | r | r ² |
| Fresca | 0,866 NS | 0,75 | 0,912 NS | 0,83 | 0,866 NS | 0,75 |
| No fresca | 0,500 NS | 0,25 | 0,866 NS | 0,75 | 0,866 NS | 0,75 |
| Certificada | 0,500 NS | 0,25 | 0,866 NS | 0,75 | 1,000 AS | 1,00 |

NS = No significativo,

AS = Altamente significativo,

PGE = Prueba de germinación estándar

Vs = Versus,

PF = Prueba de frío,

ETZ = Ensayo topográfico con tetrazolio,

PC = Prueba en campo.

Correlaciones altas y positivas, fueron encontradas por la prueba de frío al compararlas con la emergencia de plántulas en la prueba en campo. Así, se encontró una correlación alta positiva en las semillas frescas y no frescas, determinando que el 75% de la variabilidad del porcentaje de la emergencia en campo es explicado por las condiciones de los lotes. De la misma forma, se determinó una correlación alta positiva, determinando que el 100% de la variabilidad del porcentaje de la emergencia en campo es explicado por la prueba de frío, en el lote de semilla certificada.

Los resultados obtenidos por la prueba de frío en semillas de maíz, para este estudio ha mostrado una buena correlación con la emergencia en el campo; tal como lo menciona la literatura citada (PERETTI, 1994).

Cuando los lotes de semillas son parecidos en cuanto a su calidad, la PGE es incapaz de clasificarlos, ya que no es sensible a las diferencias potenciales que puedan existir entre ellos (Hacisalihoglu, 1999 citado por CONTRERAS y BARROS, 2003). Frente a éstos, una prueba de vigor se puede constituir una herramienta muy importante porque permite que se manifiesten las diferencias que están latentes entre los lotes, tal como lo hizo el ensayo topográfico con tetrazolio.

En el caso de las semillas utilizadas en este estudio, la mínima diferencia de calidad fisiológica existente entre los lotes hizo que la PGE no fuera lo suficientemente sensible para detectar esto y entregar una correlación alta positiva con la emergencia en campo (Cuadro15).

Ahora bien, el coeficiente de correlación entre la PGE con el ETZ y PF, disminuye el primero cuando las condiciones de campo son subóptimas, como el caso de la prueba de emergencia en campo. Esto confirmaría lo explicado por CONTRERAS y BARROS (2003), quienes establecen que la PGE puede ser un índice preciso de la emergencia en el campo cuando las condiciones de él son normales; pero se vuelve menos sensible cuando las condiciones son adversas. Por lo tanto, esto indicaría que la PGE pierde sensibilidad cuando los lotes poseen una calidad fisiológica similar y cuando las condiciones de campo son subóptimas.

Se señala que la correlación de una prueba de vigor puede ser mejor o peor según las condiciones de campo en que las semillas vayan a ser

sembradas o utilizadas. Es por esto que cada prueba de vigor sería específica según el cultivo en el que se aplique y las condiciones de campo donde este se siembre.

Para los lotes de semillas de maíz que se evaluaron, la prueba que mejor se correlacionó con el índice de emergencia en campo evaluado fue la PF. Esta prueba puede convertirse en una prueba de vigor posible de usarse en forma estandarizada y masiva, tal como sucede en Austria donde es obligatoria para la certificación de semillas de maíz (PERETTI, 1994).

Según la Figura 8 y demás cuadros presentados y discutidos, las diferencias de calidad fisiológica entre las semillas estudiadas fueron mínimas, presentando mayor viabilidad y vigor el lote de semilla certificada, seguido del lote de semilla fresca y no fresca, aunque entre estos dos últimos no se pudo determinar diferencias estadísticas. Esto se debe posiblemente a las condiciones de cosecha y pos cosecha, que en el caso de las semillas certificadas fueron muy favorables tanto que permitieron mantener la calidad fisiológica por mayor tiempo, todo esto favorecido por el tipo de semilla de maíz ortodoxa. Por otro lado, al parecer las semillas frescas fueron cosechadas y trilladas de una forma inadecuada que produjeron roturas afectando fatalmente a un porcentaje de semillas tan igual como en la semilla fresca. Sin embargo queda claro que en cuanto al vigor las semillas no frescas presentaron mermas en comparación con la semilla no fresca, aunque no así en el porcentaje de germinación.

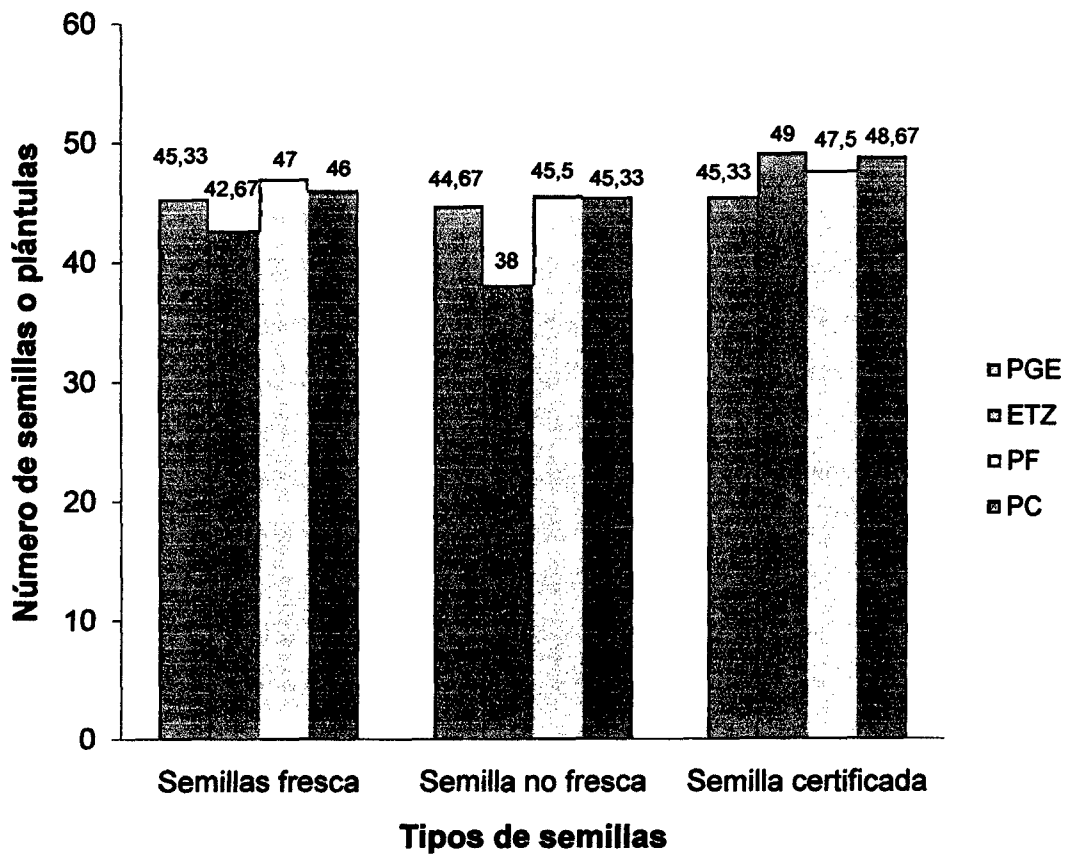


Figura 8. Promedios del número de plántulas normales, en la prueba de germinación estándar (PGE), ensayo topográfico con tetrazolio (ETZ), prueba de frío (PF) y en la prueba de campo (PC) para tres tipos de semillas de maíz.

V. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en este ensayo y de acuerdo a las observaciones realizadas se concluye lo siguiente:

1. Los tres estados de semillas presentaron altos porcentajes de germinación, lo que evidencia una buena calidad fisiológica, que se explica por condiciones normales del periodo de pos cosecha.
2. Bajo condiciones normales en campo, la prueba de germinación estándar puede muy bien predecir el comportamiento en campo de semillas de maíz.
3. El ensayo topográfico con tetrazolio presenta alta sensibilidad para detectar diferencias mínimas de viabilidad y vigor que se encuentran en los lotes de semillas de maíz; no así la prueba de germinación estándar.
4. Los resultados obtenidos en la prueba de frío se correlacionaron mejor con la emergencia en campo, que el ensayo topográfico con tetrazolio y la prueba de germinación estándar.

VI. RECOMENDACIONES

1. Continuar con los ensayos en tecnología de semillas, para evaluar y optimizar otras pruebas de vigor como la prueba de "envejecimiento acelerado" y otras pruebas de viabilidad, determinando las que mejor se correlacionen con los resultados de la emergencia en campo.
2. Realizar ensayos de vigor y viabilidad en semillas de maíz tomando en consideración diferentes temperaturas de secado, contenido de humedad y condiciones de almacenamiento.
3. Para la determinación de la calidad fisiológica de semillas de maíz, además de la prueba de germinación estándar se debe realizar una prueba de vigor; que puede ser la prueba de frío que correlaciona bien con la emergencia en campo o el ensayo topográfico con tetrazolio, dependiendo de la disponibilidad de materiales en laboratorio y de las capacidades del analista

VII. RESUMEN

Semillas de maíz (*Zea mays L.*), de tres lotes o estados distintos: semilla fresca, semilla no fresca y semilla certificada; fueron sometidos a pruebas de viabilidad (prueba de germinación estándar), de vigor (ensayo topográfico por tetrazolio y prueba de frío) y una prueba de campo, con el objetivo de evaluar la calidad fisiológica y determinar la prueba de viabilidad y/o vigor que mejor se correlacione con la emergencia y el establecimiento en campo.

El ensayo se realizó en el laboratorio e invernadero de Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María. La semilla fresca se obtuvo de una parcela recién cosechada, la no fresca del mercado y la certificada de una tienda comercial. Las pruebas se realizaron de acuerdo a las técnicas y procedimientos descritos por el Instituto Internacional de Investigación y Ensayo de Semillas (ISTA) recopiladas por PERETTI (1994). Las pruebas de laboratorio y de campo se dispusieron en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones por prueba en cada estado de semilla. Los resultados se evaluaron con un análisis de variancia, pruebas de medias (Duncan al 95%), estadísticos de tendencia central y de dispersión y finalmente, se correlacionaron los resultados de las pruebas de viabilidad y vigor con la prueba de campo.

Los resultados muestran que las diferencias de calidad fisiológica entre las semillas estudiadas fueron mínimas, presentando mayor viabilidad y vigor el

lote de semilla certificada, seguido de los lotes de semillas fresca y no fresca, aunque entre estos dos últimos no se pudo determinar diferencias estadísticas. El ensayo topográfico con tetrazolio fue lo suficientemente sensible para detectar diferencias mínimas de vigor y de viabilidad entre lotes de semillas de maíz; no así la prueba de germinación estándar.

La prueba de frío se correlacionó mejor con la emergencia en campo, que el ensayo topográfico con tetrazolio y la prueba de germinación estándar; demostrando superioridad para predecir el establecimiento en campo.

Para obtener mejores resultados, se sugiere que en futuros ensayos de la calidad fisiológica de semilla de maíz; además de la prueba de germinación estándar se realice una prueba de vigor que puede ser la prueba de frío que correlaciona bien con la emergencia en campo o el ensayo topográfico por tetrazolio, dependiendo de la disponibilidad de materiales en laboratorio y de las capacidades del analista.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ALIZAGA, R.; MELLO, V.; DOS SANTOS, D. y IRIGON, D. 1994. Evaluación del vigor en semilla de *Phaseolus vulgaris* y su relación con la emergencia en el campo. *Agronomía Costarricense* 18(2): 227-234. [En línea]: (http://www.mag.go.cr/rev_agr/v18n02_227.pdf, Documentos, 29 Oct. 2006).
2. ALIZAGA, R.; STERLING, F. y HERRERA, J. 1992. Evaluación del vigor en semillas de maíz y su relación con el comportamiento en el campo. *Agronomía Costarricense* 16(2): 203-210. [En línea]: (<http://www.mag.go.cr/revagr/v16n02203.pdf>, Documentos, 29 Oct. 2006).
3. CONTRERAS, S. y BARROS, M. 2003. Pruebas de vigor en semillas de lechuga y su correlación con emergencia. Departamento de Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. Vol. 32 No 1 ENERO-ABRIL 2005. [en línea]: (<http://www.rcia.puc.cl/Espanol/pdf/32-1/pruebas.pdf>, Documentos, 29 Oct. 2006).
4. DELOUCHE, J.C. 1971. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Revista SEED News*. Prof. Emérito de Mississippi State University /EUA.[Enlínea]:(http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66_esp.shtml. Documentos, 29 Oct. 2006).

5. FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL AGRO (FUNDEAGRO). 1989. La semilla: germinación de una nueva era. 163p.
6. MINISTERIO DE AGRICULTURA MINAG., 2006. Generalidades del maíz.[Enlínea]:([http://www.minag.gob.pe/agricola/maiz_generalidades.s.shtml](http://www.minag.gob.pe/agricola/maiz_generalidades.shtml)). Documentos, 15 Nov. 2006).
7. MOLINA, J.C.; GONZALES, V.A. y CARBALLO, A. 2003. Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. Rev. Fitotecnia Mexicana, octubre-diciembre, año/vol. 26, número 004, Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Chapingo, México pp. 271-277. [En línea]: (<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/610/61026408.pdf>). Documentos, 29 Oct. 2006).
8. OBANDO, Y.M. y GOMEZ, J.E. 2004. Fenología y propagación de *Plukenetia volubilis*, *Oenocarpus bataua*, *Eschweilera sp* y otras especies de interés como productos forestales no maderables. Proyecto "Manejo de fragmentos de bosque en Sistemas Ganaderos del área de colonización consolidada del Caquetá, como una estrategia de aprovechamiento integral de productos forestales (maderables y no maderables). Colombia. 87p.
9. OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA OIA – MINAG. 2000. Estadísticas de la producción de maíz en el Perú. 25p.

10. PERETTI, A. 1994. Manual para análisis de semillas. Edit. Hemisferio sur. S.A. Buenos Aires, Argentina. 281p.
11. QUIRÓS, W. y CARRILLO, O. 2001. La importancia del insumo semilla de buena calidad. Oficina Nacional de Semillas. [En línea: (<http://www.ofinase.go.cr/publicaciones/CALIDAD.doc>. Documentos2 9 Oct. 2006).
12. SALINAS, A.R.; YOLDJIAN, A. M.; CRAVIOTTO, R.M. y BISARO, V. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 36, n. 2, p. 371-379. [En línea] :(<http://www.scielo.br/pdf/pab/v36n2/a22v36n2.pdf> Documentos, 29 Oct. 2006).
13. SAMANIEGO, L. 2000. Introducción a las evaluaciones de calidad en el laboratorio. Proyecto SICA (Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador). Unidad de Semillas. [En línea]: (<http://www.sica.gov.ec/agro/incumos/evalab.htm>. Documentos, 29 Oct. 2006).
14. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA MOLINA (UNALM). 2004. (<http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin12>. Documento publicado el 29 Oct. 2006).

15. ZOCCO, J.L. 2006. Producción artesanal de semilla de variedades de maíz. Fundación para la Investigación Agrícola (DANAC) - Venezuela. Biodiversidad Elmaisanco-La Marroquina Vol 2, N° 1, pag5.[Enlínea]:(<http://www.elmaisanco.com.ve/articulos/4434fd1248198.pdf>, Documentos, 11 Dic. 2006).

IX. ANEXO

Cuadro 16. Resultados de la prueba de germinación estándar para maíz del lote semilla fresca.

| Análisis de germinación | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|---------------|----------------|-----------|---------|-----------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Nº de muestra: 1 | | Especie: Maíz | | | | Anormales | | | | | |
| Resultado (%) | | | | | | Nº | Descripción | Nº semillas | | | |
| Nº días | Normales | Duras | Frescas | Anormales | Muertas | 1. | | | | | |
| 7 | 90.67 | 0 | 0 | 0 | 9.33 | 2. | | | | | |
| Fecha inst. | | 1. | | 2. | | 3. | | | | | |
| 05-02-07 | | 09-02-07 | | 12-02-07 | | 4. | | | | | |
| Nº semillas ensayadas | | | Lote | | | 5. | | | | | |
| 150 | | | Semilla fresca | | | 6. | | | | | |
| Nº días | Norm. | Duras | Frescas | Anormales | Muertas | 7. | | | | | |
| R ₁ | 1. | 44 | 0 | 0 | 0 | 6 | 8. | | | | |
| | 2. | 46 | 0 | 0 | 0 | 4 | 9. | | | | |
| R ₂ | 1. | 43 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10. | | | | |
| | 2. | 44 | 0 | 0 | 0 | 6 | 11. | | | | |
| R ₃ | 1. | 46 | 0 | 0 | 0 | 4 | 12. | | | | |
| | 2. | 46 | 0 | 0 | 0 | 4 | 13. | | | | |
| Total | | 136 | 0 | 0 | 0 | 14 | Observación: | | | | |
| T.G. | | 136 | | | | | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | Promedio |
| Promedio | | 45.33 | | 0 | 0 | 4.67 | PG: | 92 | 88 | 92 | 90.67 |

Cuadro 17. Resultados de la prueba de germinación estándar para maíz del lote semilla no frescas.

| Análisis de germinación | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|---------------------|----------|--------|---------|--------------|--|----------------|----------------|----------------|----------|
| Nº de muestra: 1 | | Especie: Maíz | | | | | Anormales | | | | |
| Resultados (%) | | | | | | Nº | Descripción | Nº semi. | | | |
| Nº días | Norm | Duras | Frescas | Anorm. | Muertas | 1. | | 4 | | | |
| 7 | 89.33 | 0 | 0 | 8 | 2.67 | 2. | Cariopse podrido | 4 | | | |
| Fecha inst. | 1. | | 2. | | | 3. | Plúmula poco desarrollada con raíces primarias atrofiadas. | 4 | | | |
| 05-02-07 | 09-02-07 | | 12-02-07 | | | | | | | | |
| Nº semillas ensayadas | | Lote | | | | 4. | | | | | |
| 150 | | Semillas no frescas | | | | 5. | | | | | |
| Nº días | Norm. | Duras | Frescas | Anorm. | Muertas | 6. | | | | | |
| R ₁ | 1. | 41 | 0 | 0 | 1 | 8 | 7. | | | | |
| | 2. | 46 | 0 | 0 | 2 | 2 | 8. | | | | |
| R ₂ | 1. | 39 | 0 | 0 | 4 | 7 | 9. | | | | |
| | 2. | 44 | 0 | 0 | 4 | 2 | 10. | | | | |
| R ₃ | 1. | 42 | 0 | 0 | 4 | 4 | 11. | | | | |
| | 2. | 44 | 0 | 0 | 6 | 0 | 12. | | | | |
| Total | 134 | 0 | 0 | 12 | 4 | Observación: | | | | | |
| T.G. | 146 | | | | | | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | Promedio |
| Promedio | 44.67 | 0 | 0 | 4 | 1 | PG: | 92 | 88 | 88 | 89.33 | |

Cuadro 18. Prueba de germinación estándar para maíz del lote semilla certificada.

| Análisis de germinación | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|---------------------|---------|----------|----------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| N° de muestra: 1 | | Especie: Maíz | | | | Anormales | | | | |
| Resultados (%) | | | | | | N° | Descripción | N° Semillas | | |
| N° días | Norm. | Duras | Frescas | Anorm. | Muertas. | 1. | Coleoptilo enrollado | 12 | | |
| 7 | 90.67 | 0 | 0 | 8 | 1.33 | 2. | | | | |
| Fecha inst. | 1. | 2. | | | | 3. | | | | |
| 05-02-07 | | 09-02-07 | | 12-02-07 | | 4. | | | | |
| N° semillas ensayadas | | Lote | | | | 5. | | | | |
| 150 | | Semilla certificada | | | | 6. | | | | |
| N° días | Norm. | Duras | Frescas | Anorma. | Muertas. | 7. | | | | |
| R ₁ | 1. | 45 | 0 | 0 | 2 | 3 | 8. | | | |
| | 2. | 46 | 0 | 0 | 2 | 2 | 9. | | | |
| R ₂ | 1. | 41 | 0 | 0 | 4 | 5 | 10. | | | |
| | 2. | 46 | 0 | 0 | 4 | 0 | 11. | | | |
| R ₃ | 1. | 42 | 0 | 0 | 4 | 4 | 12. | | | |
| | 2. | 44 | 0 | 0 | 6 | 0 | 13. | | | |
| Total | 136 | 0 | 0 | 12 | 2 | Observación: | | | | |
| T.G. | 148 | | | | | | | | | |
| Prom. | 45.33 | 0 | 0 | 44 | 0.67 | PG: | R ₁ 92 | R ₂ 92 | R ₃ 88 | Prom. 90.67 |

Cuadro 19. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semillas frescas, repetición 1.

| Nº de muestra: 1 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------|-------|-------|----------|
| Cultivar: Maíz | | | Tipo: Fresca | | | Repetición: 1 | | | | |
| Nº de semillas ensayadas: 50 | | Concentración : 0.05% | | Tiempo de Tinción : 3 h | | Temperatura: 30°C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | Nº de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| Viables sin defectos | 34 | 68 | Vigor alto | 68 | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viables defectos leves | 3 | 6 | Vigor medio | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Viables defectos moderados | 5 | 10 | Vigor bajo | 10 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10 |
| Viables defectos severos | 0 | 0 | Limite critico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| No viable | 8 | 16 | No viable | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| Por ciento semillas viables | 42 | 84 | Vigor acumulado | 84 | 30 | 0 | 2 | 0 | 0 | 32 |

Cuadro 20. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semillas frescas, repetición 2.

| Nº de muestra: 1 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|----------|-------|-------|----|
| Cultivar: Maíz | | Tipo: Frescas | | | Repetición: 2 | | | | | |
| Nº de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.05% | | Tiempo de tinción: 3 h | | Temperatura: 30°C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | Nº de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| | | | | | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viables sin defectos | 39 | 78 | Vigor alto | 78 | | | | | | |
| Viables defectos Leves | 6 | 12 | Vigor medio | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| Viables defectos moderados | 1 | 2 | Vigor bajo | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Viables defectos severos | 0 | 0 | Limite critico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| No viable | 4 | 8 | No viable | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Por ciento semillas viables | 46 | 92 | Vigor acumulado | 92 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 |

Cuadro 21. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semillas frescas, repetición 3.

| N° de muestra: 1 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------|-------|-------|----------|
| Cultivar: Maíz | | | Tipo: Frescas | | | Repetición: 3 | | | | |
| N° de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.05% | | Tiempo de Tinción: 3 h | | Temperatura: 30°C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | N° de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| Viables sin defectos | 43 | 86 | Vigor alto | 86 | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viables defectos leves | 3 | 6 | Vigor medio | 6 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 |
| Viables defectos moderados | 2 | 4 | Vigor bajo | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Viables defectos severos | 0 | 0 | Limite crítico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| No viable | 2 | 4 | No viable | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Por ciento semillas viables | 48 | 96 | Vigor acumulado | 96 | 10 | 2 | 2 | 0 | 0 | 14 |

Cuadro 22. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla no frescas, repetición 1.

| N° de muestra: 2 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------|-------|-------|----------|
| Cultivar: Maíz | | | Tipo: No frescas | | | Repetición: 1 | | | | |
| N° de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.05% | | Tiempo de tinción: 3 h | | Temperatura: 30°C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | N° de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| Viables sin defectos | 31 | 62 | Vigor alto | 62 | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viables defectos leves | 4 | 8 | Vigor medio | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Viables defectos moderados | 6 | 12 | Vigor bajo | 12 | 8 | 0 | 4 | 0 | 0 | 12 |
| Viables defectos severos | 2 | 4 | Limite crítico | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| No viable | 7 | 14 | No viable | 14 | 10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| Por ciento semillas viables | 43 | 86 | Vigor acumulado | 86 | 30 | 4 | 4 | 0 | 0 | 38 |

Cuadro 23. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla no frescas, repetición 2.

| Nº de muestra: 2 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|----------|-------|-------|----|
| Cultivar: Maíz | | Tipo: No frescas | | | Repetición: 2 | | | | | |
| Nº de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.05% | | Tiempo de tinción: 3 h | | Temperatura: 30°C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | Nº de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| Viables sin defectos | 36 | 72 | Vigor alto | 72 | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viables defectos leves | 2 | 4 | Vigor medio | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Viables defectos moderados | 7 | 14 | Vigor bajo | 14 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| Viables defectos severos | 0 | 0 | Limite critico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| No viable | 5 | 10 | No viable | 10 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Por ciento semillas viables | 45 | 90 | Vigor acumulado | 90 | 26 | 2 | 0 | 0 | 0 | 28 |

Cuadro 24. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla no frescas, repetición 3.

| N° de muestra: 2 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|----------|-------|-------|----|
| Cultivar: Maíz | | Tipo: No frescas | | | Repetición: 3 | | | | | |
| N° de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.5% | | Tiempo de tinción: 4 h | | Temperatura: 35°C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | N° de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| Viabiles sin defectos | 40 | 80 | Vigor alto | 80 | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viabiles defectos leves | 1 | 2 | Vigor medio | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Viabiles defectos moderados | 4 | 8 | Vigor bajo | 8 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 8 |
| Viabiles defectos severos | 1 | 2 | Limite critico | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| No viable | 4 | 8 | No viable | 8 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Porciento semillas viabiles | 46 | 92 | Vigor acumulado | 92 | 14 | 2 | 4 | 0 | 0 | 20 |

Cuadro 25. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla certificada, repetición 1.

| Nº de muestra: 2 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------|--------------------------------------|------------------|-----------------|--------------------------|--------------|----------|
| Cultivar: Maíz | | Tipo: Certificada | | | Repetición: 1 | | | | | |
| Nº de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.05% | | | Tiempo de tinción: 3 h | | | Temperatura: 30°C | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | Nº de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| | | | | | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viabiles sin defectos | 46 | 92 | Vigor alto | 92 | | | | | | |
| Viabiles defectos leves | 2 | 4 | Vigor medio | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Viabiles defectos moderados | 1 | 2 | Vigor bajo | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Viabiles defectos severos | 0 | 0 | Limite critico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| No viable | 1 | 2 | No viable | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Porciento semillas viabiles | 49 | 98 | Vigor acumulado | 98 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |

Cuadro 26. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla certificada, repetición 2.

| Nº de muestra: 3 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------|----------|-------|-------|---|
| Cultivar: Maíz | | Tipo: Certificada | | | Repetición: 2 | | | | | |
| Nº de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.05% | | Tiempo de Tinción: 3 h | | Temperatura: 30 °C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | Nº de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| Viabiles sin defectos | 47 | 94 | Vigor alto | 94 | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viabiles defectos leves | 2 | 4 | Vigor medio | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Viabiles defectos moderados | 0 | 0 | Vigor bajo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Viabiles defectos severos | 0 | 0 | Limite crítico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| No viable | 1 | 2 | No viable | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Porciento semillas viabiles | 49 | 98 | Vigor acumulado | 98 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |

Cuadro 27. Resultados del análisis con tetrazolio para maíz del lote semilla certificada, repetición 3.

| Nº de muestra: 3 | | Fecha de recepción: 10-01-07 | | | Fecha de evaluación: 14-02-07 | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------|-------|-------|----------|
| Cultivar: Maíz | | Tipo: Certificada | | | Repetición: 3 | | | | | |
| Nº de semillas ensayadas: 50 | | Concentración: 0.05% | | Tiempo de Tinción: 3 h | | Temperatura: 30°C | | | | |
| Viabilidad × Tetrazolio | Nº de semillas | % | Vigor × Tetrazolio | % | Daños % | | | | | % |
| Viables sin defectos | 48 | 96 | Vigor alto | 96 | Mecánicos | Microorg. | Insectos | Otros | Duras | |
| Viables defectos leves | 2 | 4 | Vigor medio | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Viables defectos moderados | 0 | 0 | Vigor bajo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Viables defectos severos | 0 | 0 | Limite critico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| No viable | 0 | 0 | No viable | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 50 | 100 | Vigor acumulado | 100 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |

Cuadro 28. Resultados de la prueba de frío para maíz del lote semillas frescas.

| Análisis de germinación y emergencia | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------------|---------|----|--|-------------|
| Nº de muestra: 1 | | Especie: Maíz | | | Anormales | |
| Resultados (%) | | | | Nº | Descripción | Nº semillas |
| Nº días | Normales | Anormales | Muertas | 1. | Coleoptilo enrollado | 3 |
| 12 | 94 | 3 | 3 | 2. | | |
| Fecha inst. | 1. | 2. | | 3. | | |
| 06-02-07 | 18-02-07 | 25-02-07 | | 4. | | |
| Nº semillas ensayadas | | Lote | | | 5. | |
| 100 | | Semilla fresca | | | 6. | |
| Nº días | Normales | Anormales | Muertas | 7. | | |
| R ₁ | 1. | 42 | 0 | 8 | 8. | |
| | 2. | 47 | 0 | 3 | 9. | |
| | Total | 47 | 0 | 3 | 10. | |
| R ₂ | 1. | 0 | 0 | 50 | 11. | |
| | 2. | 47 | 3 | 0 | Observaciones R ₁ R ₂ Promedio Vigor: 94 94 94 | |
| | Total | 47 | 3 | 0 | | |
| T.G. | 97 | | | | | |
| Prom. | 47 | 2 | 2 | | | |

Cuadro 29. Resultados de la prueba de frío para maíz del lote semillas no frescas.

| Análisis de germinación y emergencia | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|--------------------|---------|-------------|--|-------------|
| Nº de muestra: 2 | | Especie: Maíz | | | Anormales | |
| Resultados (%) | | | | Descripción | | Nº semillas |
| Nº días | Normales | Anormales | Muertas | 1. | Coleoptilo enrollado | 2 |
| 12 | 91 | 5 | 1 | 2. | Raquítico y clorótico | 3 |
| Fecha inst. | 1. | 2. | | 3. | | |
| 06-02-07 | 18-02-07 | 25-02-07 | | 4. | | |
| Nº semillas ensayadas | | Lote | | | 5. | |
| 100 | | Semilla no frescas | | | 6. | |
| Nº días | Normales | Anormales | Muertas | 7. | | |
| R1 | 1. | 34 | 0 | 16 | 8. | |
| | 2. | 47 | 0 | 3 | 9. | |
| Total | | 47 | 0 | 3 | 10. | |
| R2 | 1. | 13 | 0 | 37 | 11. | |
| | 2. | 44 | 5 | 1 | Observaciones R ₁ R ₂ Promedio Vigor: 94 88 91 | |
| Total | | 44 | 5 | 1 | | |
| T.G. | | 96 | | | | |
| Prom. | | 46 | 3 | 2 | | |

Cuadro 30. Resultados de la prueba de frío para maíz del lote semilla certificada.

| Análisis de germinación y emergencia | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------------|---------|----|---------------|--|
| N° de muestra: 3 | | Especie: Maíz | | | Anormales | |
| Resultados (%) | | | | N° | Descripción | N° semillas |
| N° días | Normales | Anormales | Muertas | 1. | | |
| 12 | 95 | 0 | 5 | 2. | | |
| Fecha inst. | 1. | 2. | | 3. | | |
| 06-02-07 | 18-02-07 | 25-02-07 | | 4. | | |
| N° semillas ensayadas | | Lote | | | 5. | |
| 100 | | Semilla certificada | | | 6. | |
| N° días | Normales | Anormales | Muertas | 7. | | |
| R ₁ | 1. | 47 | 0 | 3 | 8. | |
| | 2. | 48 | 0 | 2 | 9. | |
| Total | | 48 | 0 | 2 | 10. | |
| R ₂ | 1. | 45 | 0 | 5 | 11. | |
| | 2. | 47 | 0 | 3 | | |
| Total | | 47 | 0 | 3 | | |
| T.G. | | 95 | | | | |
| Prom. | 48 | 0 | 3 | | | |
| | | | | | Observaciones | |
| | | | | | Vigor: | R ₁ R ₂ Promedio |
| | | | | | | 96 94 95 |

Cuadro 31. Resultados de la emergencia en campo en condiciones parcialmente controladas para maíz del lote semillas frescas.

| Análisis de germinación y emergencia | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------------|---------|---------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|-------------|
| N° de muestra: 1 | | Especie: Maíz | | | Anormales | | | |
| Resultados (%) | | | | N° | Descripción | N° semillas | | |
| N° días | Normales | Anormales | Muertas | 1. | Poco desarrollados, cloróticos | 2 | | |
| 14 | 92 | 0 | 8 | 2. | | | | |
| Fecha inst. | 1. | 2. | | 3. | | | | |
| 01-02-07 | 07-02-07 | 14-02-07 | | 4. | | | | |
| N° semillas ensayadas | | Lote | | | 5. | | | |
| 150 | | Semilla fresca | | | 6. | | | |
| N° días | Normales | Anormales | Muertas | 7. | | | | |
| R ₁ | 1. | 46 | 2 | 2 | 8. | | | |
| | 2. | 46 | 0 | 4 | 9. | | | |
| | Total | 46 | 0 | 4 | 10. | | | |
| R ₂ | 1. | 42 | 0 | 8 | 11. | | | |
| | 2. | 42 | 0 | 8 | 12. | | | |
| | Total | 42 | 0 | 8 | 13. | | | |
| R ₃ | 1. | 50 | 0 | 0 | 14. | | | |
| | 2. | 50 | 0 | 0 | 15. | | | |
| | Total | 50 | 0 | 0 | | | | |
| T.E. | | | | 138 | | | | |
| Prom. | 46 | 0 | 4 | Observaciones | | | | |
| | | | | P.E = | R ₁ 92 | R ₂ 84 | R ₃ 100 | Promedio 92 |

Cuadro 32. Resultados de la emergencia en campo en condiciones parcialmente controladas para maíz del lote semillas no frescas.

| Análisis de germinación y emergencia | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|-------------------|---------|----|--------------------------------|---|
| N° de muestra: 2 | | Especie: Maíz | | | Anormales | |
| Resultados (%) | | | | N° | Descripción | N° semillas |
| N° días | Normales | Anormales | Muertas | 1. | Poco desarrollados, cloróticos | 2 |
| 14 | 90.67 | 1.33 | 8 | 2. | | |
| Fecha inst. | 1. | 2. | - | 3. | | |
| 01-02-07 | 07-02-07 | 14-02-07 | | 4. | | |
| N° semillas ensayadas | | Lote | | 5. | | |
| 150 | | Semilla no fresca | | 6. | | |
| N° días | Normales | Anormales | Muertas | 7. | | |
| R ₁ | 1. | 42 | 4 | 4 | 8. | |
| | 2. | 44 | 2 | 4 | 9. | |
| Total | | 44 | 2 | 4 | 10. | |
| R ₂ | 1. | 46 | 0 | 4 | 11. | |
| | 2. | 46 | 0 | 4 | 12. | |
| Total | | 46 | 0 | 4 | 13. | |
| R ₃ | 1. | 46 | 0 | 4 | 14. | |
| | 2. | 46 | 0 | 4 | 15. | |
| Total | | 46 | 0 | 4 | Observaciones | |
| T.E. | | 138 | | | | R ₁ R ₂ R ₃ Promedio |
| Prom. | | 45 | 1 | 4 | P.E. = | 88 92 92 90.67 |

Cuadro 33. Resultados de la emergencia en campo en condiciones parcialmente controladas para maíz del lote semillas certificada.

| Análisis de germinación y emergencia | | | | | | |
|---|----------|----------------------|---------|-----------------------------------|--|--|
| Nº de muestra: 3 | | Especie: Maíz | | | Anormales | |
| Resultados (%) | | | | Descripción | Nº semillas | |
| Nº días | Normales | Anormales | Muertas | 1. Poco desarrollados, cloróticos | 2 | |
| 14 | 97.33 | 0 | 2.67 | 2. | | |
| Fecha inst. | 1. | 2. | | 3. | | |
| 01-02-07 | 07-02-07 | 14-02-07 | | 4. | | |
| Nº semillas ensayadas | | Lote | | 5. | | |
| 150 | | Semilla certificada | | 6. | | |
| Nº días | Normales | Anormales | Muertas | 7. | | |
| R ₁ | 1. | 48 | 2 | 0 | 8. | |
| | 2. | 50 | 0 | 0 | 9. | |
| | Total | 50 | 0 | 0 | 10. | |
| R ₂ | 1. | 48 | 0 | 2 | 11. | |
| | 2. | 48 | 0 | 2 | 12. | |
| | Total | 48 | 0 | 2 | 13. | |
| R ₃ | 1. | 48 | 0 | 2 | 14. | |
| | 2. | 48 | 0 | 2 | 15. | |
| | Total | 48 | 0 | 2 | | |
| T.E. | 146 | | | Observaciones | | |
| Prom. | 49 | 0 | 1 | P.E. = | R ₁ R ₂ R ₃ Promedio 100 96 96 97.33 | |

Cuadro 34. Promedio del número de plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación, según la prueba de germinación estándar.

| Repetición (50 semillas/rep.) | Fresca | | | | No fresca | | | | Certificada | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-----------|------|------|-------|-------------|------|------|-------|
| | NPN | NPA | NSM | PG | NPN | NPA | NSM | PG | NPN | NPA | NSM | PG |
| R ₁ | 46 | 0 | 4 | 92 | 46 | 2 | 2 | 92 | 46 | 2 | 2 | 92 |
| R ₂ | 44 | 0 | 6 | 88 | 44 | 6 | 2 | 88 | 46 | 4 | 0 | 92 |
| R ₃ | 46 | 0 | 4 | 92 | 44 | 4 | 0 | 88 | 44 | 6 | 0 | 88 |
| Total | 136 | 0 | 14 | 272 | 134 | 12 | 4 | 268 | 136 | 12 | 2 | 272 |
| Promedio | 45,33 | 0,00 | 4,67 | 90,67 | 44,67 | 4,00 | 1,33 | 89,33 | 45,33 | 4,00 | 0,67 | 90,67 |

Cuadro 35. Promedio del número de semillas vigorosas (NSVg), plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación, en el ensayo topográfico con tetrazolio.

| Repetición (50 semillas/rep.) | Fresca | | | | | No fresca | | | | | Certificada | | | | |
|----------------------------------|--------|-------|------|------|-------|-----------|-------|------|------|-------|-------------|-------|------|------|-------|
| | NSVg | NPN | NPA | NSM | PG | NSVg | NPN | NPA | NSM | PG | NSVg | NPN | NPA | NSM | PG |
| R ₁ | 34 | 37 | 5 | 8 | 74 | 31 | 35 | 8 | 7 | 70 | 46 | 48 | 1 | 1 | 96 |
| R ₂ | 39 | 45 | 1 | 4 | 90 | 36 | 38 | 7 | 5 | 76 | 47 | 49 | 0 | 1 | 98 |
| R ₃ | 43 | 46 | 2 | 2 | 92 | 40 | 41 | 5 | 4 | 82 | 48 | 50 | 0 | 0 | 100 |
| Total | 116 | 128 | 8 | 14 | 256 | 107 | 114 | 20 | 16 | 228 | 141 | 147 | 1 | 2 | 294 |
| Promedio | 38,67 | 42,67 | 2,67 | 4,67 | 85,33 | 35,67 | 38,00 | 6,67 | 5,33 | 76,00 | 47,00 | 49,00 | 0,33 | 0,67 | 98,00 |

Cuadro 36. Promedio del número de plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación (PG), según la prueba de frío.

| Repetición (50 semillas/rep.) | Fresca | | | | No fresca | | | | Certificada | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-----------|------|------|-------|-------------|------|------|-------|
| | NPN | NPA | NSM | PG | NPN | NPA | NSM | PG | NPN | NPA | NSM | PG |
| R ₁ | 47 | 0 | 3 | 94 | 47 | 0 | 3 | 94 | 48 | 0 | 2 | 96 |
| R ₂ | 47 | 3 | 0 | 94 | 44 | 5 | 1 | 88 | 47 | 0 | 3 | 94 |
| Total | 94 | 3 | 3 | 188 | 91 | 5 | 4 | 182 | 95 | 0 | 5 | 190 |
| Promedio | 47,00 | 1,50 | 1,50 | 94,00 | 45,50 | 2,50 | 2,00 | 91,00 | 47,50 | 0,00 | 2,50 | 95,00 |

Cuadro 37. Promedio del número de plántulas normales (NPN), plántulas anormales (NPA), número de semillas muertas (NSM) y porcentaje de germinación (PG), según la prueba de campo.

| Repetición (50 semillas/rep.) | Fresca | | | | No fresca | | | | Certificada | | | |
|----------------------------------|--------|------|------|-------|-----------|------|------|-------|-------------|------|------|-------|
| | NPN | NPA | NSM | PG | NPN | NPA | NSM | PG | NPN | NPA | NSM | PG |
| R ₁ | 46 | 0 | 4 | 92 | 44 | 2 | 2 | 88 | 50 | 0 | 0 | 100 |
| R ₂ | 42 | 0 | 8 | 84 | 46 | 0 | 0 | 92 | 48 | 0 | 0 | 96 |
| R ₃ | 50 | 0 | 0 | 100 | 46 | 0 | 0 | 92 | 48 | 0 | 0 | 96 |
| Total | 138 | 0 | 12 | 276 | 136 | 2 | 2 | 272 | 146 | 0 | 0 | 292 |
| Promedio | 46,00 | 0,00 | 4,00 | 92,00 | 45,33 | 0,67 | 0,67 | 90,67 | 48,67 | 0,00 | 0,00 | 97,33 |

Cuadro 38. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en la prueba de germinación estándar.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|----|
| Tratamiento | 2 | 0,88 | 0,44 | 0,33 | 5,14 | 10,92 | NS |
| Error exp. | 6 | 8,00 | 1,33 | | | | |
| Total | 8 | 8,88 | | | | | |

Cuadro 39. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en la prueba de germinación estándar.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|---|
| Tratamiento | 2 | 32,00 | 16,00 | 6,00 | 5,14 | 10,92 | * |
| Error exp. | 6 | 16,00 | 2,66 | | | | |
| Total | 8 | 48,00 | | | | | |

Cuadro 40. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en la prueba de germinación estándar.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|
| Tratamiento | 2 | 27,55 | 13,77 | 10,33 | 5,14 10,92 | * |
| Error exp. | 6 | 8,00 | 1,33 | | | |
| Total | 8 | 35,55 | | | | |

Cuadro 41. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas vigorosas en el ensayo topográfico con tetrazolio.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|
| Tratamiento | 2 | 206,88 | 103,44 | 7,45 | 5,14 10,92 | * |
| Error exp. | 6 | 83,33 | 13,89 | | | |
| Total | 8 | 290,22 | | | | |

Cuadro 42. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en el ensayo topográfico con tetrazolio.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|---|
| Tratamiento | 2 | 182,88 | 91,44 | 7,99 | 5,14 | 10,92 | * |
| Error exp. | 6 | 68,66 | 11,44 | | | | |
| Total | 8 | 251,55 | | | | | |

Cuadro 43. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en el ensayo topográfico con tetrazolio.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|----|
| Tratamiento | 2 | 61,55 | 30,77 | 13,2 | 5,14 | 10,92 | ** |
| Error exp. | 6 | 14,00 | 2,33 | | | | |
| Total | 8 | 75,55 | | | | | |

Cuadro 44. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en el ensayo topográfico con tetrazolio.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|
| Tratamiento | 2 | 38,22 | 19,11 | 4,78 | 5,14 10,92 | NS |
| Error exp. | 6 | 24,00 | 4,00 | | | |
| Total | 8 | 62,22 | | | | |

Cuadro 45. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en la prueba de frío.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|
| Tratamiento | 2 | 4,33 | 2,17 | 1,30 | 9,55 30,82 | NS |
| Error exp. | 3 | 5,00 | 1,67 | | | |
| Total | 5 | 9,33 | | | | |

Cuadro 46. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en la prueba de frío.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|----|
| Tratamiento | 2 | 6,33 | 3,17 | 0,56 | 9,55 | 30,82 | NS |
| Error exp. | 3 | 17,00 | 5,67 | | | | |
| Total | 5 | 23,33 | | | | | |

Cuadro 47. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en la prueba de frío.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|----|
| Tratamiento | 2 | 1,00 | 0,50 | 0,21 | 9,55 | 30,82 | NS |
| Error exp. | 3 | 7,00 | 2,33 | | | | |
| Total | 5 | 8,00 | | | | | |

Cuadro 48. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas normales en la prueba de campo.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|----|
| Tratamiento | 2 | 18,67 | 9,33 | 1,50 | 5,14 | 10,92 | NS |
| Error exp. | 6 | 37,33 | 6,22 | | | | |
| Total | 8 | 56,00 | | | | | |

Cuadro 49. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de plántulas anormales en la prueba de campo.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|----|
| Tratamiento | 2 | 0,88 | 0,44 | 1,00 | 5,14 | 10,92 | NS |
| Error exp. | 6 | 2,67 | 0,44 | | | | |
| Total | 8 | 3,56 | | | | | |

Cuadro 50. Análisis de variancia (ANVA) para el carácter número de semillas muertas en la prueba de campo.

| F. de variación | G.L. | SC | CM | Fcal. | Ftab. | Significancia | |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|----------------------|----|
| Tratamiento | 2 | 27,56 | 13,78 | 2,38 | 5,14 | 10,92 | NS |
| Error exp. | 6 | 34,67 | 5,78 | | | | |
| Total | 8 | 62,22 | | | | | |

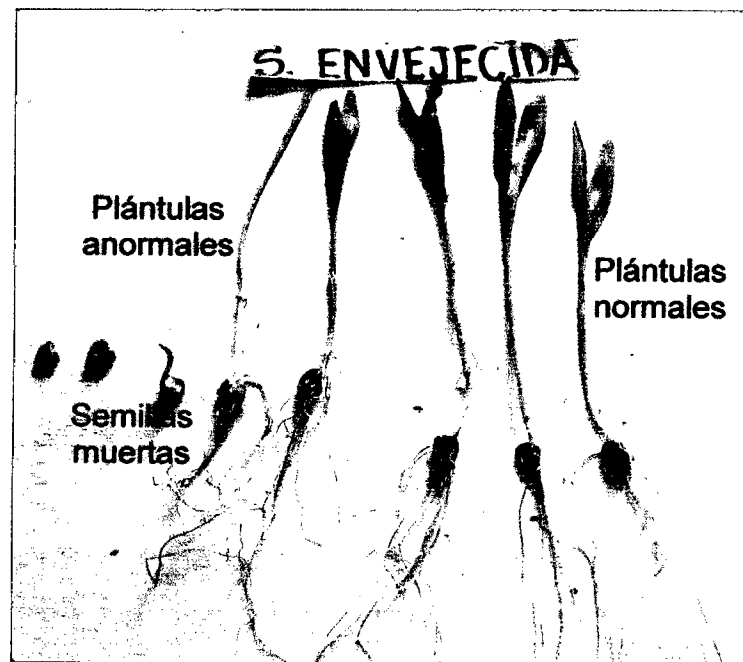


Figura 9. Lectura de la prueba de germinación estándar para el lote de semilla no fresca.

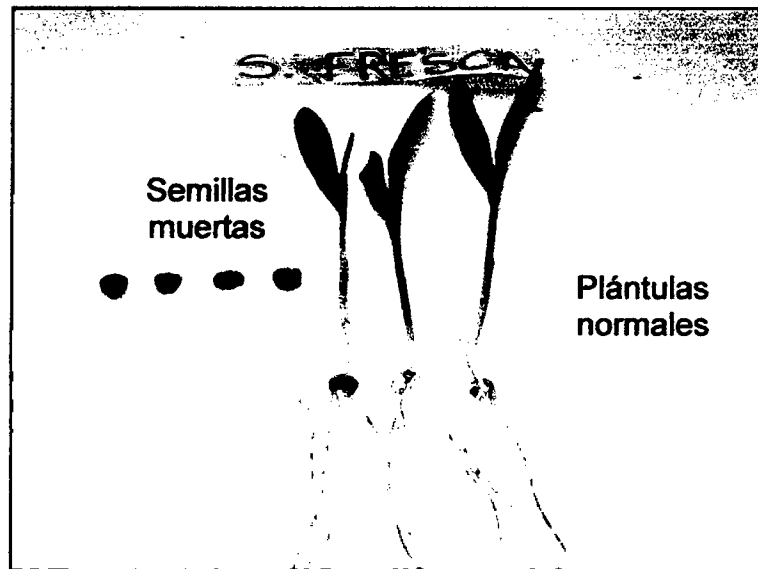


Figura 10. Lectura de la prueba de germinación estándar para el lote de semilla fresca.

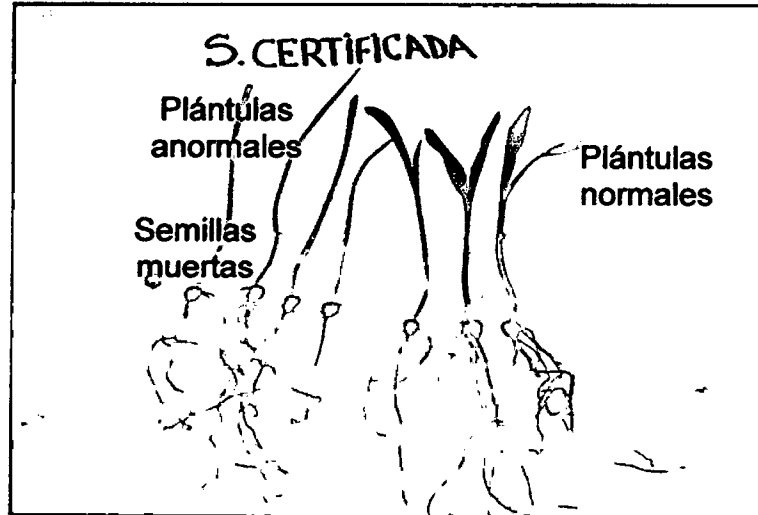


Figura 11. Lectura de la prueba de germinación estándar para el lote de semilla certificada.

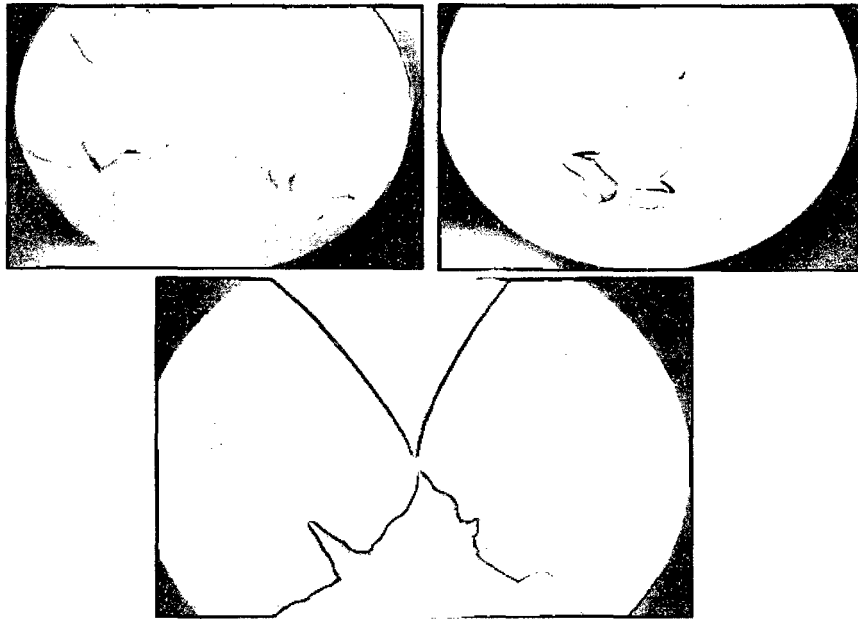


Figura 12. Semillas viables sin defectos en la lectura del ensayo topográfico con tetrazolio.

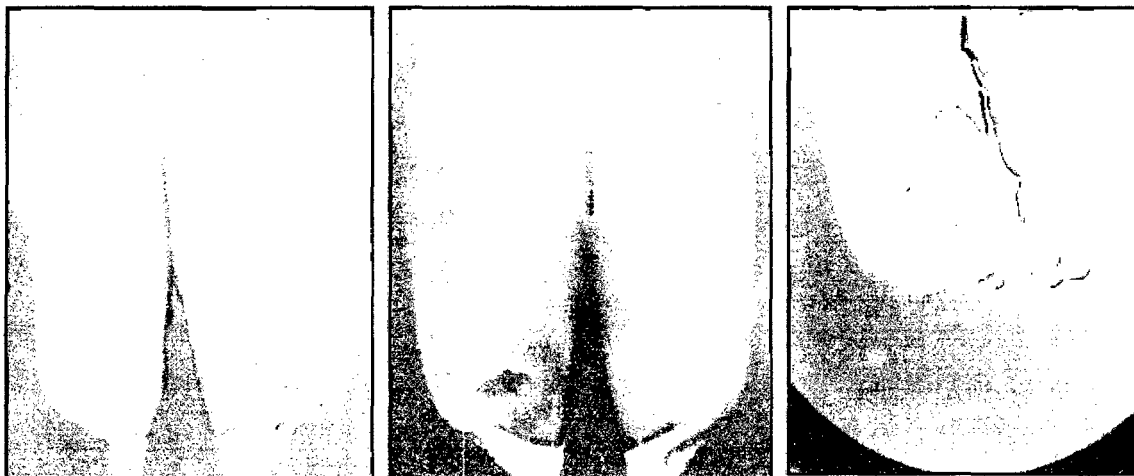


Figura 13. Semillas viables con defectos leves (izquierda), viable con defectos moderados (centro) y viable con defectos severos (derecha), en la lectura del ensayo topográfico con tetrazolio.

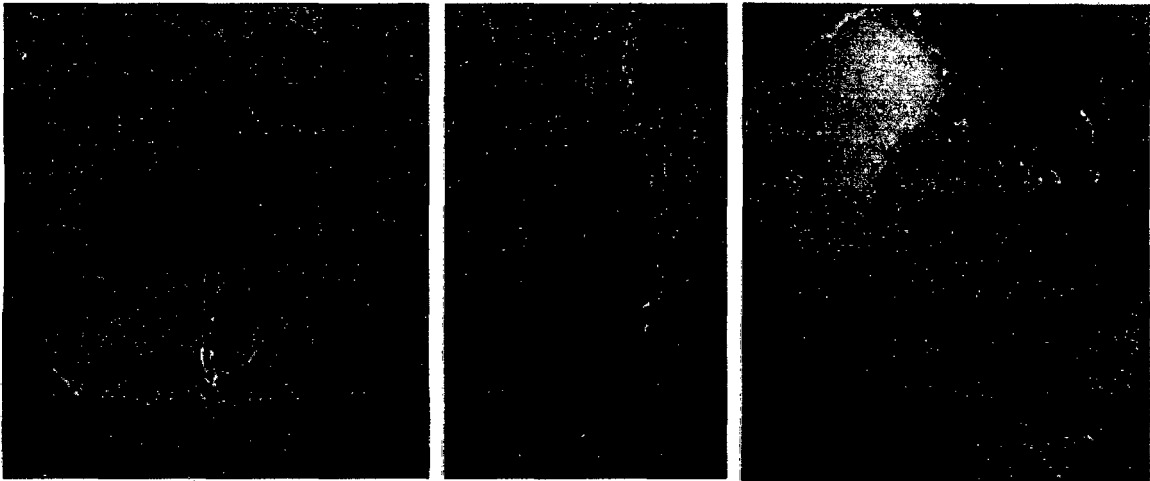


Figura 14. Semillas no viables en la lectura del ensayo topográfico con tetrazolio.



Figura 15. Plántulas emergidas en la prueba de frío.



Figura 16. Plántulas emergidas en la prueba en campo.