

# **EMPLEO Y ADECUACIÓN DE MÉTODOS MULTIVARIADOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL VIGOR DE LAS SEMILLAS**

**Marlen Navarro Boulandier<sup>1</sup>, Gustavo Febles Pérez<sup>2</sup> y Verena Torres Cárdenas<sup>2</sup>**

**1. Estación Experimental "Indio Hatuey", cuba. marlen.navarro@indio.atenas.inf.cu**

**2. Instituto de Ciencia Animal, Cuba**

## **Introducción**

En la búsqueda de metodologías con sensibilidad suficiente para determinar con mayor precisión el grado de deterioro de las semillas, se han desarrollando diversos procedimientos bajo el nombre convencional de "pruebas de vigor". Los efectos del vigor pueden persistir e influir en el crecimiento de la planta adulta, en la uniformidad de la cosecha y en el rendimiento de la especie. La detección del deterioro de las semillas a través de las pruebas de vigor puede ser entendida como un componente importante en la evaluación de elementos de la calidad y contribuye a la solución de problemas tales como el almacenamiento. Al respecto, Alizaga et al. (1992) aseveran que el principal desafío de las investigaciones sobre pruebas de vigor está en la identificación de indicadores relacionados con el deterioro de las semillas, que preceden a la pérdida de la capacidad germinativa y la calidad.

El vigor se maneja muchas veces de manera empírica o utilizando una o dos variables solamente. En el presente trabajo se aplicó este concepto y se le adjudicó una expresión más integral y dinámica. Se decidió utilizar como especie modelo a la leguminosa *Albizia lebbeck* (L.) Benth. Con el propósito de desarrollar una secuencia experimental apoyada en la combinación de variables biológicas y artificios matemáticos para la estimación del vigor. Los elementos (variables) seleccionados son expresiones biológicas del crecimiento y del desarrollo de semillas y plántulas, a los que se dio un contenido y expresión matemáticos para "precisar" su comportamiento.

## **Materiales y métodos**

### **Diseño experimental y tratamientos**

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (6 x 13), en el que los factores estuvieron determinados por los métodos presiembra (6) y los tiempos de almacenamiento (13); en cada uno de los métodos y evaluaciones se siguieron las recomendaciones de ISTA (1999). Antes de la siembra se procedió a la aplicación de pretratamientos (ácido, agua caliente, remojo, pinchazo y corte de cubierta) para acelerar los indicadores biológicos estudiados y además se mantuvo un control.

### **Procedimientos**

Se desarrolló un procedimiento generado por las mediciones en el vivero durante la emergencia de plántulas, que consiste en:

1. Seleccionar las variables que aparecen descritas posteriormente, relacionadas con el vigor según el criterio aislado de diversos autores.
2. Caracterizar el comportamiento de los métodos presiembra más adecuados (tabla 8).
  - a. Evaluar cada variable, en un momento inicial (0 mdia) y durante 12 meses subsiguientes. El primero representa el inicio del almacenamiento (semillas recién cosechadas) y los posteriores el período de almacenaje en condiciones ambientales no controladas, período en el cual es de interés evaluar la eficiencia de los tratamientos presiembra y su relación con el vigor de las semillas.
  - b. Comparar los cambios ocurridos en el vigor (calidad) durante el almacenamiento de las semillas a partir de las variables valoradas.
3. Para el análisis integral de los resultados (estimación del vigor) se utilizó el modelo estadístico propuesto por Torres et al. (2007).

### **Variables relacionadas con el vigor.**

Las variables se seleccionaron a partir del criterio disperso de diferentes autores sobre la relación de cada una de ellas con la expresión del vigor de las semillas:

- a) Días para el inicio de la emergencia (IE) (Edwards 1980)
- b) Porcentaje de emergencia final para el período de la prueba (Emer) (Perry 1984)
- c) Día pico: día en el que se observó la mayor cantidad de plántulas (DP) (Murillo 1998)
- d) Emergencia pico: porcentaje máximo de emergencia en un mismo día (EP) (Murillo 1998).
- e) Valor de la germinación (VG) según la fórmula de Djavanshir y Pourbeik (1976).

$$VG = \left( \sum_{i=1}^n Ved_i \right) \left( Ef / 10N \right)$$

Donde,

Ved = velocidad de emergencia diaria, calculada como el porcentaje de la emergencia acumulada entre el número de días desde el inicio de la prueba.

N = frecuencia o número de Ved que se calcularon durante la prueba.

Ef = porcentaje de la emergencia de plántulas al final de los 21 días de la prueba.

- f) Energía de germinación (Ener), tipificada por el valor más alto de la velocidad de emergencia diaria durante la prueba (Czabator 1962).
- g) Tasa de emergencia (TE) expresada en %emergencia d<sup>-1</sup> (El-Kassaby et al. 1992)

#### Procesamiento estadístico de los resultados

Para el procesamiento de la información obtenida se utilizó una adecuación del modelo estadístico de Torres et al. (2007), según el cual se desarrollaron los siguientes pasos:

- (1) Con los datos obtenidos de las evaluaciones en el vivero se construyó la matriz de datos a procesar.
- (2) Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados, utilizando la matriz de correlación.
- (3) Identificación y selección del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor
- (4) Clasificación de los tiempos de almacenaje en los métodos presiembra, según los criterios:
  - o Índice de eficiencia
  - o Formación de los grupos

Los resultados que se obtuvieron al desarrollar los cuatro pasos anteriores permitieron definir los grupos de vigor alto y bajo para cada método presiembra en particular.

#### **Resultados y discusión**

Se tratará de relacionar los resultados de la técnica estadística empleada y la explicación de los resultados biológicos alcanzados a través de ella. Sin embargo, se necesita precisar que el procedimiento estadístico es original en su conjunto para el caso particular de la estimación del vigor, por lo que en la literatura nacional e internacional no se apreciaron antecedentes.

#### **Comprobación de las premisas de aplicación de los métodos multivariados**

Las premisas a verificar fueron analizadas. La primera relacionada con la matriz de datos se cumple, pues la dimensión es de 13 x 7, es decir, el número de variables en estudio (7) es menor que el número de evaluaciones durante el almacenamiento (13). La segunda correspondiente a la matriz de correlación, indicó cierto grado de correlación dado los porcentajes de coeficientes superiores a 0,40 en cada método presiembra.

Del análisis realizado se observó que los valores propios y la varianza explicada evidencian que el 85% de la variabilidad fue explicada por los dos primeros componentes principales (tablas 1 y 2). Desde el punto de vista biológico este resultado indica que en los métodos presiembra evaluados a través de las siete variables en estudio, la variabilidad fue superior al 85% cuando se agruparon la mayoría de ellas en los dos primeros componentes principales.

#### **Identificación del orden de importancia de las variables en la explicación de la variabilidad del vigor**

Se destaca que, la tasa de emergencia aparece en todos los tratamientos empleados incluyendo el control. Dicho comportamiento indica que la tasa de emergencia es un indicador de considerable importancia para la estimación del vigor; lo cual concuerda con Hartmann y

Kester (2000), Copeland y McDonald (2001) y Laskwoski y Bautista (2002). Por otro lado, no se debe aplicar el criterio de eliminar variables de manera definitiva, en estudios subsiguientes, puesto que un análisis de las tablas 1 y 2 indica que las que aparecen en los componentes 1 y 2 fueron de 71% del total en la escarificación húmeda y de 100% en la seca (incluye el control), al considerar valores de preponderancia mayores e iguales a 0,90.

#### Selección de las variables

##### *Escarificación húmeda*

Cuando se empleó el ácido sulfúrico se obtuvo que en la componente principal 1 (CP1), con una varianza explicada de 62,7%; se destaca de igual manera las variables: emergencia, energía y tasa de emergencia. En la segunda componente (CP2) las variables inicio de emergencia y día pico resultaron también importantes (tabla 1).

Tabla 1. Varianzas explicadas y valores de peso de las variables en las componentes principales extraídas.

Variable	Ácido		Agua		Remojo	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Inicio de germinación (días)	0,01	<b>0,98</b>	0,57	0,60	0,03	<b>0,90</b>
Emergencia (%)	<b>0,95</b>	0,24	<b>0,93</b>	0,32	<b>0,98</b>	0,04
Día pico (días)	0,15	<b>0,97</b>	0,57	0,74	0,43	0,77
Emergencia pico (días)	0,89	0,31	<b>0,97</b>	0,22	0,84	0,04
Valor de germinación	0,84	-0,29	0,24	<b>0,90</b>	0,77	-0,55
Energía de germinación (%/días)	<b>0,95</b>	-0,09	0,21	<b>0,96</b>	0,45	-0,87
Tasa de emergencia (%/días)	<b>0,95</b>	0,24	<b>0,93</b>	0,32	<b>0,98</b>	0,04
<b>Valor propio</b>	4,39	2,08	5,15	1,15	3,70	2,35
<b>% varianza explicada</b>	62,73	29,68	73,61	16,49	52,82	33,55
<b>% varianza acumulada</b>	62,73	92,41	73,61	90,11	52,82	86,37

Para el agua caliente la CP1 explica el 73,6% de la variabilidad total. Las variables más importantes para la CP1 resultaron ser: emergencia, emergencia pico y tasa de emergencia; y para la CP2 valor de germinación y energía. En la CP1 del método de remojo sobresalieron la emergencia y la tasa de emergencia, y en la CP2, únicamente el inicio de la emergencia.

##### *Escarificación seca y control*

La determinación de la variabilidad de los indicadores del vigor de las semillas (tabla 2), indicó que al escoger dos componentes se explica el 97,13; 95,09 y 93,86% de dicha variabilidad para los tratamientos pinchazo, corte de cubierta y control, respectivamente.

Tabla 2. Varianzas explicadas y valores de peso de las variables en las componentes principales extraídas para la escarificación seca y el control

Variables	Pinchazo		Corte		Control	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Inicio de germinación (días)	-0,07	<b>0,98</b>	-0,12	<b>0,97</b>	-0,32	<b>0,90</b>
Emergencia (%)	<b>0,98</b>	0,08	<b>0,98</b>	0,03	<b>0,99</b>	-0,02
Día pico (días)	0,01	<b>0,99</b>	-0,11	<b>0,99</b>	0,13	<b>0,96</b>
Emergencia pico (días)	<b>0,97</b>	-0,10	<b>0,92</b>	-0,19	<b>0,91</b>	-0,12
Valor de germinación	<b>0,98</b>	-0,10	<b>0,94</b>	-0,25	<b>0,97</b>	-0,04
Energía de germinación (%/días)	<b>0,99</b>	-0,12	<b>0,93</b>	-0,32	<b>0,96</b>	-0,21
Tasa de emergencia (%/días)	<b>0,98</b>	0,08	<b>0,98</b>	0,03	<b>0,99</b>	-0,02
<b>Valor propio</b>	4,83	1,97	4,83	1,83	4,90	1,67
<b>% varianza explicada</b>	68,99	28,13	68,99	26,09	69,97	23,89
<b>% varianza acumulada</b>	68,99	97,13	68,99	95,09	69,97	93,86

Las variables seleccionadas en la CP1 en los tres tratamientos presiembra fueron emergencia, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia, con valores muy similares y en la CP2 inicio de emergencia y día pico. Debido a que dichas variables son las que más varían, en términos numéricos, se puede afirmar que a través de su análisis se puede estimar el vigor de las semillas.

## **Clasificación de los tiempos de almacenamiento para cada método de escarificación presiembra**

Para conocer la importancia y eficiencia del comportamiento global de las variables para cada tiempo de almacenamiento, independientemente del método de escarificación, se decidió que el estadístico denominado “índice de impacto” por Torres et al. (2007) se debe interpretar como índice de la eficiencia de las variables evaluadas en los tiempos de almacenamiento, en su relación con la variabilidad del vigor. El “índice de eficiencia” fortalece y amplía la concepción y los resultados de este trabajo en la estimación del vigor. En él se crea una combinación de los tiempos de almacenaje evaluados dentro de cada método presiembra. Este índice depende de las variables de mayor preponderancia (tablas 1 y 2) y los valores positivos más altos indican cuáles tienen más influencia en cada tiempo de almacenamiento particular para cada método presiembra estudiado. Los valores más altos negativos indican lo contrario.

### **Índices de eficiencia**

Las tablas 3 y 4 muestran la eficiencia de cada una de las dos componentes seleccionadas en las variables para la estimación del vigor, cuando las semillas se siembran a diferentes tiempos de almacenamiento. Para explicar cada caso hay que referirse también a la selección de las variables que aparecen en las tablas 1 y 2

#### *Escarificación húmeda*

En el ácido, a 4 mdia las variables emergencia, energía y tasa de emergencia fueron más eficientes, o sea, que en esta evaluación es donde mejor se expresaron las variables de la CP1, sin subestimar los valores que aparecen a 9 y 11 mdia; mientras que en 6 y 7 mdia fue donde peor se expresaron. En la CP2 el análisis se debe hacer a la inversa y, por lo tanto, las mejores variables fueron más eficientes a 1, 2, 4 y 8 mdia. Esto se debe a que resulta más conveniente para el éxito de la siembra que la emergencia comience lo más tempranamente posible y, a su vez, que la mayor cantidad de plántulas logren emerger en el menor tiempo, lo que ha sido informado por Forcella et al. (2000). Valores altos para las variables inicio de emergencia y día pico se consideran como efectos indeseables, tal y como aparentemente sucedió a 0, 7 y 9 mdia.

En el agua caliente se observó que las variables que tipifican la CP1 mostraron el mayor efecto positivo sólo a 9 mdia, al igual que a 0 y 4 mdia para la CP2; mientras que en esta misma componente fue negativo para 9 mdia, en esta evaluación fue donde peor se expresaron las variables de la CP2. Es necesario recordar que los resultados del experimento no favorecieron a ninguno de estos dos métodos presiembra, debido a que en el caso particular de este estudio se comportan como pretratamientos agresivos que afectan, probablemente, el embrión.

En el remojo no ocurrió exactamente así. En este caso, los tiempos de almacenaje en que mejor se expresaron la emergencia y la tasa de emergencia (CP1) fueron 1, 3 y 4 mdia, destacándose 3 con el índice más alto, y en la peor situación se encontraron 9 y 12 mdia; mientras que a 3 mdia, según el índice de eficiencia, se exhibió el valor más negativo para el inicio de la emergencia (CP2), pero esto es biológicamente beneficioso, pues a mayor número de días es menor el retraso para el inicio de la emergencia.

Aunque en el remojo el ACP sólo identificó tres variables esto no constituye una deficiencia del método, ya que las tres están vinculadas con medidas trascendentales en relación con el desarrollo de las plántulas. Obviamente, la emergencia es una manifestación del vigor de las semillas y si a ello se une la tasa de emergencia, se presupone que las plántulas emergen a un ritmo más rápido, lo cual se maximiza en aquellas plántulas que logran emerger en el menor tiempo; esto coincide con los criterios de Salinas et al. (2001) y Valadez et al. (2007).

Como se expresó anteriormente, no se puede obviar que en el control todas las variables estudiadas estuvieron distribuidas entre las dos CP (tabla 2), lo que puede ser indicativo de que por el efecto negativo del ácido y el agua caliente se afectó el comportamiento de las variables emergencia pico y valor de germinación para el método del ácido, y para el agua caliente las variables día pico y tasa de emergencia. El hecho de que estas variables no influyeran en el

tiempo de almacenamiento pudo ser un indicativo del deterioro de la calidad y, por ende, del vigor; similar afirmación fue realizada por Mandal et al. (2000) y Rajasekaran et al. (2005).

Tabla 3. Eficiencia de las variables relacionadas con el vigor.

Almacenamiento (mdia)	Matriz eficiencia					
	Ácido		Agua		Remojo	
	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2
0	0,01	1,22	0,63	1,43	0,10	0,84
1	-0,94	-1,25	-0,48	-0,42	1,24	0,21
2	-0,43	-1,12	-0,48	-0,36	0,05	0,00
3	-0,67	0,11	-0,65	-0,72	1,64	-2,00
4	2,10	-1,23	0,58	2,15	1,47	0,39
5	-0,98	-0,50	-0,65	-0,72	0,28	0,95
6	-1,09	0,57	-0,18	0,08	0,33	0,82
7	-1,09	1,08	-0,03	0,35	-0,59	0,48
8	-0,14	-1,45	-0,07	0,88	-0,57	-0,98
9	0,91	1,26	2,99	-1,41	-1,59	-1,82
10	0,62	0,45	-0,38	0,20	-0,40	-0,18
11	0,94	0,12	-0,65	-0,72	-0,73	0,42
12	0,75	0,73	-0,65	-0,72	-1,23	0,89

#### *Escarificación seca y control*

En cuanto a la manifestación del vigor, el pinchazo y el corte fueron menos agresivos que el ácido y el agua caliente; anteriormente se explicó la forma en que ambos métodos pueden contribuir al comportamiento de la germinación y la emergencia. Al valorar la tabla 4, se observa que para las variables que tipifican la CP1 existió un comportamiento positivo al sembrar las semillas que recibieron un pinchazo a 3 mdia, e igualmente positivos resultaron las siembras a 0, 5 y 9 mdia para los indicadores seleccionados en la CP2, no así para 2 y 4 mdia, evaluaciones en las que fue negativo.

En el corte de cubierta, 2 y 3 mdia fueron los tiempos de almacenamiento donde mejor se expresaron las variables de la CP1 y a 5 mdia las de la CP2; los peores valores se encontraron a 8 mdia (CP1) y a 3, 4 y 8 mdia en las variables inicio de emergencia y día pico (CP2). En el tratamiento control los mejores valores correspondieron a 3, 4 y 6 mdia para las variables mejor representadas en la CP1; mientras que para la CP2 fueron 5 y 9 mdia los tiempos de almacenamiento más relacionadas positivamente y los más negativos 2, 8 y 10 mdia.

Tabla 4. Eficiencia de las variables relacionadas con el vigor

Almacenamiento (mdia)	Matriz de eficiencia					
	Pinchazo		Corte		Control	
	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2	EfCP1	EfCP2
0	0,08	1,05	-0,80	0,34	-0,93	-0,43
1	0,70	0,50	0,55	0,96	0,52	0,32
2	-0,42	-2,14	1,16	-0,19	0,81	-1,28
3	2,73	-0,64	2,54	-1,16	1,37	-0,91
4	-0,37	-1,05	-0,37	-1,15	1,11	0,67
5	-0,67	1,12	-0,54	1,31	-0,57	1,81
6	0,79	0,71	0,26	0,79	1,45	0,81
7	0,55	0,31	0,24	0,92	0,73	-0,05
8	-0,80	-0,59	-1,31	-1,91	-0,72	-1,26
9	-0,65	1,41	-0,27	0,91	-0,98	1,05
10	-0,81	-0,59	-0,81	-0,68	-1,08	-1,37
11	-0,52	-0,13	-0,22	-0,35	-0,75	0,55
12	-0,61	0,02	-0,44	0,21	-0,97	0,09

Alrededor del valor del índice de eficiencia positivo más alto, que se corresponde con un tiempo de almacenamiento determinado, deben estar los otros tiempos que pueden presentar un comportamiento similar y aceptable del vigor. Para verificar esta consideración hay que hacer un análisis de conglomerados, que debe agrupar los tiempos de almacenaje según el mejor o peor comportamiento de las variables. A partir de aquí se conforman grupos donde se apreciará cómo es la expresión de estas variables en cada grupo. A este nivel el investigador puede tener más probabilidad de elegir, de manera global y más integral cuál tratamiento presiembra específico debe dar a o no a sus lotes de semillas, con un mayor grado de confiabilidad y lógica por la relación de esta selección con el vigor. Estos pasos se explican a continuación.

### **Formación de los grupos**

A partir de los índices de eficiencia, en cada método presiembra se procedió a analizar la existencia de tiempos de almacenaje con comportamientos similares, para que las respuestas a los métodos presiembra fueran lo más eficaces y eficientes posible en la estimación del vigor.

Tabla 5. Grupos formados por el análisis Cluster para cada método presiembra

Método presiembra	Coeficiente de disimilitud	Grupos formados	Evaluaciones (mdia)
Ácido	1.29	I	0, 9, 10, 11 y 12
		II	1, 2 y 8
		III	3, 5, 6 y 7
		IV	4
Agua caliente	1.30	I	0, 4
		II	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11 y 12
		III	9
		IV	
Remojo	1.89	I	0, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12
		II	1 y 4
		III	3
		IV	9
Pinchazo	1.86	I	0, 1, 5, 6, 7 y 9
		II	2
		III	3
		IV	4, 8, 10, 11 y 12
Corte de cubierta	1.16	I	0, 1, 5, 6, 7, 9 y 12
		II	2
		III	3
		IV	4, 10 y 11
		V	8
Control	1.83	I	0, 8 y 10
		II	1, 4, 6 y 7
		III	2 y 3
		IV	5, 9, 11 y 12

En el proceso de aglomeración en cada método presiembra se decidió realizar el corte para un valor determinado del coeficiente de disimilitud, el cual se muestra en la tabla 5, dando lugar a la clasificación del período de almacenamiento (evaluaciones) y la formación de los grupos. Para decidir el corte se examinó el historial de conglomeración y se aplicó la regla de seleccionar el coeficiente cuando los valores sucesivos entre los pasos de la conglomeración dieron un salto súbito. La representación espacial del coeficiente de disimilitud es lo que se conoce como dendrograma y según (Hair et al. 1999) es un estimador cuantitativo que describe el grado de asociación o semejanza entre los elementos comparados.

### **Definición de los grupos de vigor**

Para la elección de los grupos donde se exprese más eficientemente el vigor, se seleccionó aquel en que existía mejor comportamiento global en las variables que aparecían con mayor preponderancia en la CP1. Igualmente, hasta donde sea posible, se tratará de relacionar e interpretar, en conjunto, las distintas partes contenidas en la metodología de este trabajo.

## Ácido

En la evaluación a 4 mdia (grupo IV) se presentaron los promedios más altos para las variables: valor de germinación, emergencia, energía y tasa de emergencia (figura 1). Además, el valor más alto positivo del índice de eficiencia se registró justamente a 4 mdia.

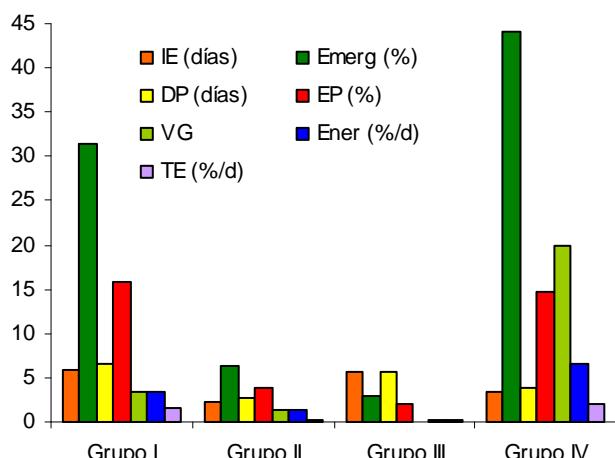


Figura 1. Valores promedio de las siete variables relacionadas para cada grupo en el ácido

en los grupos 1 y 4 (78% del total), se expresan relativamente superiores en los meses que aparecen en ambos grupos (figura 1). Aquí se notó que la mejor expresión de las variables fue a 4 mdia y en el 80% de los tiempos de almacenaje que se encuentran en la CP1 y/o la CP2.

## Aqua

En el grupo III se observaron los promedios mayores para: emergencia, emergencia pico y tasa de emergencia (figura 2), es decir, las semillas agrupadas aquí no sólo emergieron más, sino que lo hicieron más uniformemente y a un ritmo más alto. Estas mismas variables fueron identificadas por el ACP como las que más variaron. También a 9 mdia se registró el índice de eficiencia más alto positivo. Los resultados conducen a afirmar que el vigor más alto correspondió al grupo III (9 mdia).

En el grupo II se agruparon las evaluaciones que, de conjunto, exhibieron los menores valores de inicio de emergencia, día pico y tasa de emergencia. Dicho comportamiento indica que las semillas aglomeradas en este grupo, iniciaron más rápido la emergencia y, a su vez, más tempranamente se registraron las máximas emergencias diarias. Sin embargo, ellas mismas mostraron el peor porcentaje de plántulas, el menor porcentaje de plántulas emergidas en un mismo día y la menor tasa de emergencia. Estas tres últimas variables fueron las representadas en la CP 1 y, a su vez, las evaluaciones que comprende el grupo II mostraron valores negativos del índice de eficiencia. Por ello, el nefasto comportamiento en el grupo II lo identifica como el de peor expresión del vigor.

En el grupo I se encontraron los valores más altos para el inicio de la emergencia y el día pico; esto concuerda con lo obtenido para el grupo I del  $H_2SO_4$  y el efecto que representan ambos valores fue explicado anteriormente. No obstante, estas dos variables no fueron contempladas

Es importante señalar como el análisis realizado permitió determinar que cuando se aplica  $H_2SO_4$  en semillas con 4 mdia, se expresa el vigor más alto. No obstante, este criterio pudiera ser demasiado rígido y probablemente sería conveniente flexibilizar este concepto y valorar otro u otros grupos que se acerquen al mejor, de acuerdo con el comportamiento de las variables que aparecen en las componentes 1 y 2 y con el índice de eficiencia. De acuerdo con estas asunciones se puede valorar el grupo I que contempla los tiempos de almacenamiento 0, 9, 10, 11 y 12 mdia. Así las variables seleccionadas en el ACP

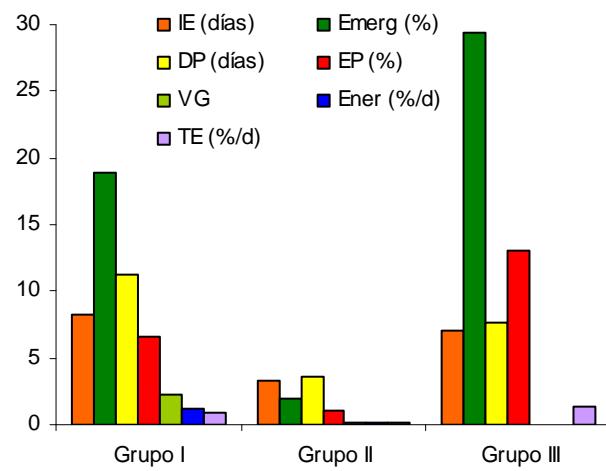


Figura 2. Valores promedios de las variables para cada grupo formado en el agua caliente

en las CP extraídas. El grupo I registró el promedio más alto para el valor de la germinación y la energía (CP2) y dichas variables mostraron eficiencia en las evaluaciones 0 y 4 mdia (grupo I). Este razonamiento permite declarar al grupo I como el de vigor medio.

#### *Remojo*

El grupo III (3 mdia) presentó el valor más alto de emergencia, valor de germinación, energía y

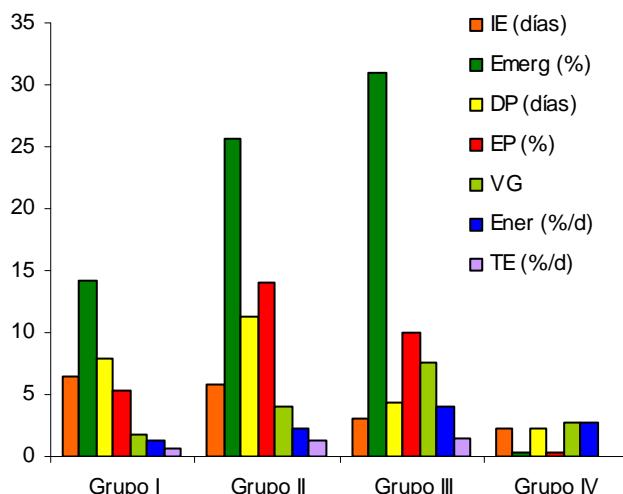


Figura 3. Valores promedio de las variables para cada grupo formado en el método del remojo

promedio para emergencia pico y tasa de emergencia. Aparejado a ello, el índice de eficiencia fue el más alto negativo a 9 mdia, lo que se manifestó en que las variables expresadas en la CP1 mostraron el peor comportamiento en dicha evaluación. De este análisis se deduce que el grupo IV es el de peor comportamiento para la expresión del vigor.

#### *Pinchazo*

Luego de la realización del análisis, se dedujo que las semillas a 3 mdia (grupo III) exhibieron el vigor más alto. A 3 mdia pertenecían los valores más altos de las variables que fueron escogidas en la CP1 y el valor positivo mayor del índice de eficiencia.

El grupo IV (figura 4) mostró los valores promedio más bajos para la emergencia, la emergencia pico, el valor de germinación y la energía, cuatro de las cinco variables de la CP1. En las evaluaciones comprendidas en el grupo IV se observaron índices de eficiencia negativos (EfCP1), lo que permitió decidir que en este grupo el vigor expresó su peor comportamiento.

#### *Corte de cubierta*

El análisis permitió determinar que a los 3 mdia, el vigor de las semillas fue más alto. En III, al igual que en el mejor grupo del pinchazo (3 mdia), se exhibieron los mejores valores promedio de emergencia, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia (figura 5), las mismas variables que representaron la CP1. Justamente a 3 mdia se encontró el índice de eficiencia más alto positivo para EfCP1 y uno de los más altos negativos para EfCP2; como se

tasa de emergencia (figura 3). Por ello, se logró expresar el vigor más alto.

Con la intención de valorar otros grupos que se acercaron al del vigor más alto, se analizó el grupo II al que pertenecen los tiempos de almacenamiento 1 y 3 mdia. En éste las dos variables seleccionadas en la CP 1 mostraron valores relativamente cercanos a los del grupo III (vigor alto); mientras que 1 y 3 mdia fueron los tiempos de almacenamiento en los que, mejor se expresaron las variables de la CP1 (EfCP1).

Por su parte, en el grupo IV (9 mdia) se inició más rápido la emergencia, pero el porcentaje de plántulas emergidas fue más bajo para el método del remojo y, a su vez, ocurrieron los peores valores

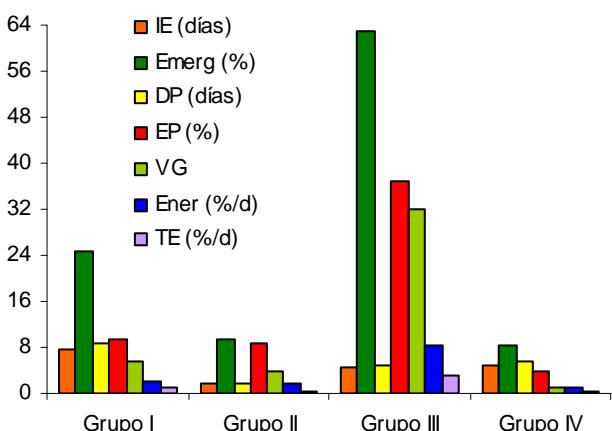


Figura 4. Valores promedio de las variables para cada grupo formado en el pinchazo.

ha explicado anteriormente las variables inicio de emergencia y día pico son más favorables a medida que sus valores son menores.

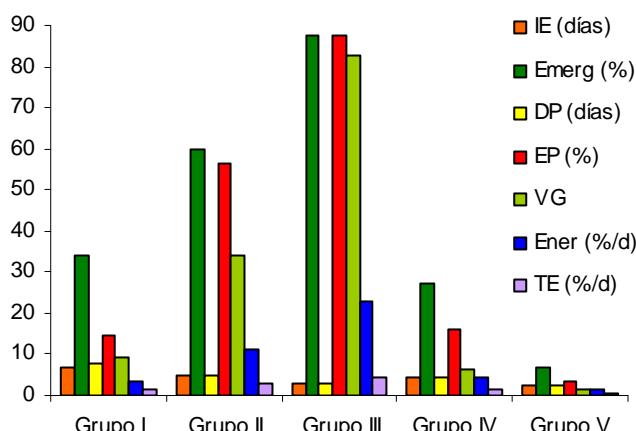


Figura 5. Valores promedio de las variables para cada grupo formado en el corte de cubierta

negativo del índice de eficiencia, lo que indica el negativo comportamiento de las variables de la CP1, por lo que el grupo IV se considera como el de peor vigor.

#### Control

En el grupo III estuvieron las evaluaciones en que las semillas, expresaron el vigor más alto. En este agrupamiento se encontraron los promedios más altos para el porcentaje de emergencia de plántulas, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia, al igual que el menor valor para el inicio de emergencia (figura 6), lo cual es un aspecto muy positivo. En sentido general, se puede plantear que en el grupo III (2 y 3 mdia) las siete variables relacionadas con el vigor y distribuidas entre la CP1 y la CP2 mostraron el mejor comportamiento. Es de resaltar que 3 mdia se correspondió con la evaluación en que se registró uno de los valores más altos positivos del índice de eficiencia (EfCP1) y, a la vez, un valor negativo considerablemente alto (cercano a 1) para la EfCP2; similar comportamiento para los índices de eficiencia se observó a 2 mdia.

No obstante, no deben descartarse los tiempos de almacenamiento 1, 4, 6 y 7 mdia, contenidos en el grupo II, puesto que los resultados apuntaron a dicho grupo como el de un comportamiento más cercano al III, no sólo por los promedios de las variables seleccionadas por el ACP, sino también por la eficiencia con que se expresaron en los tiempos de almacenamiento. El grupo II puede ser considerado como un grupo de vigor medio.

Por otra parte, el grupo IV recogió las evaluaciones mínimas (figura 6) para el porcentaje de plántulas emergidas, el valor de la germinación, la energía y la tasa de emergencia, además del valor promedio más alto de la variable inicio de emergencia y día pico, que como se ha explicado reiteradamente constituyen elementos adversos para la plantación. Unido a ello, las evaluaciones del grupo IV presentaron altos valores negativos para el índice de eficiencia en la CP1 (EfCP1) y altos positivos en la CP 2 (EfCP2). Las semillas evaluadas a 5, 9, 11 y 12 mdia (contenidos en este grupo) mostraron el vigor más bajo.

No obstante, decidir que 3 mdia fue la evaluación de vigor más alto constituye una aseveración rígida. Los resultados de la figura 5 y la tabla 4 conducen a valorar al grupo II (2 mdia) que mostró los segundos mejores valores para las variables identificadas en la CP1 (56% del total) y su expresión en el índice de eficiencia es semejante a la que exhibió 3 mdia.

En IV se recogen los valores promedio más bajos de emergencia, día pico, emergencia pico, valor de germinación, energía y tasa de emergencia; en dicha evaluación se registró el valor más alto

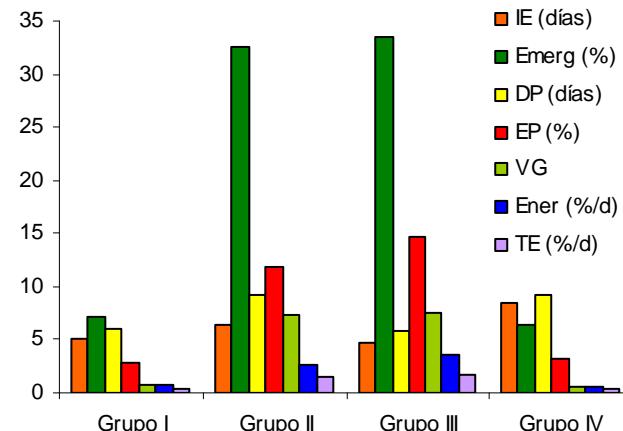


Figura 6. Valores promedios de las variables para cada grupo formado en el control.

Sin embargo, en el grupo I se observó que agrupa el valor promedio menor de la emergencia pico y que las variables emergencia, valor de germinación, energía y tasa de emergencia presentaron valores muy cercanos a los del grupo IV. También el análisis del índice de eficiencia a 0, 8 y 10 mdia, tanto para la CP1 como la CP2, mostró que el grupo I en cuanto al vigor tuvo un comportamiento cercano al IV, considerado el de peor vigor para el control.

Si se desea hacer una extrapolación de estos resultados a otras especies, se debe tomar en consideración un grupo de elementos entre los que se encuentran la especie misma, el propósito que se persigue con ella, la edad de la semilla, la viabilidad del lote, el tipo de almacenamiento a que fue sometida, así como (y hasta donde sea posible) pruebas particulares que incluyan la expresión de todas las variables tenidas en consideración para la estimación del comportamiento y variabilidad del vigor. De acuerdo con estos análisis integrales se puede llegar a definir con mayor precisión, cuál o cuáles métodos pueden ayudar a expresar más eficientemente el vigor y, de esta forma, proceder en la técnica a seguir en las siembras y muestreos de esta especie.

### Referencias

- Alizaga, R.; Sterling, F. y Herrera, J. Evaluación del vigor en semillas de maíz y su relación con el comportamiento en el campo. *Agronomía Costarricense*. 16(2):203-210. 1992.
- Copeland, A. D. y McDonald, M. B. *Principles of Seed Science and Technology*. 4<sup>th</sup> ed. Kluwer Academic Publishers, EUA. 467p. 2001.
- Czabator, F.J. Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*. 8:386-396. 1962.
- Djavanshir, K. y Pourbeik, H. Germination value-a new formula. *Silvae Genetica*. 25:79 1976.
- Edwards, D.G.W. Maturity and quality of tree seeds -a state of the art-. *Seed Sci. Technol.* 8:625-657. 1980.
- El-Kassaby Y. A.; Edwards, D.G.W. y Taylor, D. W. Genetic control of germination in Douglas-fir and its importance for domestication. *Silvae Genetica* 41:48-54. 1992.
- Forcella, K.; Benech, R.L.; Sánchez, R. y Ghersa, C.M. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*. 67:123-139. 2000.
- Hair, J.K.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. y Black, W.C. *Análisis multivariante*. 5<sup>ta</sup> ed. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 832p. 1999.
- Hartmann, H.T. y Kester, D.E. *Propagación de plantas. Principios prácticos*. 8<sup>a</sup> edición. Editorial continental. México. 760p. 2000.
- ISTA. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 27. Supplement. 1999
- Laskowski, L. y Bautista, D. Efecto de la escarificación y profundidad de siembra sobre la germinación y emergencia de *Malpighia emarginata* DC. *Bioagro*. 14(2):77-83. 2002
- Mandal, A.K.; De, B.K.; Saha, R. y Basu, R.N. Seed invigoration treatments for improved storability, field emergence and productivity of soybean. *Seed Sci. Technol.* 28:349-355. 2000.
- Murillo, O. Variación en parámetros de germinación de una población natural de *Alnus acuminata* de Guatemala. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 19:4-8. 1998.
- Perry, D.A. Manual de métodos de ensayos de vigor. Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 56p. 1984.
- Rajasekaran, R.; Balamurugan, P. y Reshma. Effect of eco-friendly seed treatments and container on storability of niger cv. Paiyur 1. *Madras Agric. J.* 92(1-3):95-100. 2005.
- Salinas, A.R.; Yoldjian, A.M.; Cravotto, R.M. y Bisaro, V. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesq. Agropec. Bras.* 36(2):371-379. 2001.
- Torres, V.; Benítez, D.; Lizazo, D. y Álvarez, A. Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. XI Conferencia Española de Biometría. Universidad de Salamanca, España. 2007.
- Valadez, J.; Mendoza, L.; Córdova, L.; Vaquera, H.; Mendoza, M.C. y García, G. Tamaños de semilla, substancias vigorizantes y pruebas de vigor en sorgos tolerantes al frío. *Agrociencia*. 16:169-179. 2007.