

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA
ÁREA DE POSGRADO

CARACTERIZACIÓN SISTEMÁTICA, PARÁMETROS GENÉTICOS
E ÍNDICES DE SELECCIÓN, DE LA COLECCIÓN DE JICAMA
(*Pachyrhizus erosus* L. Urban) DEL CATIE

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico
de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas
y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical
De Investigación y Enseñanza para optar al grado
de

Magister Scientiae

por

JOSE MANUEL MARQUEZ HERNANDEZ

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica
1992

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Jorge Morera, Ph.D
Profesor Consejero



Assefaw Tewelde, Ph.D
Jefe, Area de Posgrado

Ramón Lastra, Ph.D
Director, Programa de Enseñanza



José Manuel Márquez, M.sc
Candidato

DEDICATORIA

A DIOS ; por permitirme experimentar una fase nueva en mi vida.

Al sector Agrícola de mi país : Guatemala.

A mis padres: José Pedro Márquez Morales y
Andrea Hernández, por su sacrificio y apoyo.

A mi Esposa Doris Lisbeth Alemán por su cariño y constante motivación en las etapas difíciles de estos estudios.

A mis dos hijos : José Manuel y Lucia Elizabeth .

A la Reverenda Hna. Aurora Víquez.

A mis Hermanos: José Pedro, Carlos Enrique, Luis Américo,
Martín Alfredo, María Teresa y Silvia Esperanza.

A mis sobrinos, Cuñadas y demás familiares :

con mucho afecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos sinceros a la República de Holanda y el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) de Guatemala, por el financiamiento económico que permitió la realización de esta maestría.

A mi profesor consejero Dr. Jorge Morera M. por su valioso apoyo y motivaciones.

A mis maestros y miembros del comité asesor Drs: Assefaw Tewolde y Pedro Ferreira , por sus enseñanzas en genética y estadística como fundamento y aplicación de la ciencia del mejoramiento genético.

Al CATIE por acogerme entre sus estudiantes.

Al Ing. José Ricardo Palacios por su valiosa colaboración en la evaluación de las accesiones de jícama en la Escuela Agrícola de la Región Tropical Húmeda (EARTH).

A Jhony Montenegro por su valiosa colaboración en el procesamiento de datos.

A todos mis compañeros y personal del CATIE :

Muchas gracias.

INDICE

	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	4
1. Caracterización	4
2. Variación dentro de <i>Pachyrhizus erosus</i>	6
3. Taxonomía numérica	6
4. Valor discriminante de los caracteres	9
5. Correlaciones en <i>Pachyrhizus erosus</i>	11
6. Índice de selección	13
III. MATERIALES Y METODOS	16
1. Caracterización sistemática de las accesiones	16
1.1. Ubicación	16
1.2. Material experimental	16
1.3. Duración y manejo de las accesiones	16
1.4. Caracteres y registro	18
1.5. Matriz de similitud y estructura taxonómica	18
1.6. Determinación del valor discriminante entre grupos	23
1.6.1. Caracteres cualitativos	23
1.6.2. Caracteres cuantitativos	23
1.7. Determinación del valor determinante entre accesiones dentro de grupos	23
1.7.1. Caracteres cualitativos	23
1.7.2. Caracteres cuantitativos	24
2. Estimación de parámetros genéticos	26
2.1. Ubicación	26
2.2. Accesiones, diseño experimental, manejo agronómico	26
2.3. Caracteres y registro en ambas localidades	27
2.4. Procesamiento y análisis de datos	28
2.4.1. Variabilidad genética en <i>Pachyrhizus erosus</i>	28
2.4.2. Estimación de correlaciones entre caracteres	29
2.4.3. Índice de selección	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	34
1. Caracterización sistemática	34

1.1. Agrupamiento de las accesiones	34
1.2. Valor discriminante de los caracteres para separar grupos	35
1.2.1. Caracteres cualitativos	35
1.2.2. Caracteres cuantitativos	36
1.3. Valor discriminante de los caracteres para separar accesiones dentro de grupos	37
1.3.1. Caracteres cualitativos	37
1.3.2. Caracteres cuantitativos	41
1.4. Clasificación de los grupos	47
1.5. Características de los agrupamientos	64
1.5.1. Agrupamiento 1	69
1.5.2. Agrupamiento 2	71
1.5.3. Agrupamiento 3	72
1.6. Estructura de los agrupamientos	73
2. Estimación de parámetros genéticos	80
2.1. Variabilidad genética en <i>Pachyrhizus erosus</i>	80
2.2. Correlaciones e índices de selección	84
2.2.1. Turrialba	84
2.2.2. Guácimo	89
V. CONCLUSIONES	96
LITERATURA CITADA	99
APENDICE	104
ANEXO 1	130

MARQUEZ, J.M. 1992. Caracterización sistemática, parámetros genéticos e índices de selección de la colección de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) del CATIE. Tesis Mag.Sc., Turrialba, Costa Rica. CATIE. 142 p.

Palabras claves: jícama, *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban., caracterización sistemática, valor discriminante, agrupamiento, índice de herencia, correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales, índice de selección.

La caracterización sistemática de 40 accesiones de *Pachyrhizus erosus* se realizó en Turrialba, Costa Rica, a 602 msnm, 9°53' LN y 83°38' LO. Una muestra aleatoria de 31 accesiones se consideró para estimar índices de herencia (H^2), correlaciones genéticas (r_G), fenotípicas (r_F) y ambientales (r_E) en las localidades de Turrialba y Guácimo, mediante análisis de varianza-covarianza. Se construyeron índices de selección para predecir el mérito genético de las accesiones, utilizando caracteres correlacionados con el peso de la raíz tuberosa. La caracterización utilizó una matriz de distancias entre accesiones para un total de 86 caracteres, la cual se utilizó para el análisis de agrupamiento jerárquico de Ward. Las diferencias entre y dentro de grupos se analizaron para los caracteres de mayor valor discriminante "D" y su respectivo análisis de frecuencia.

La colección se clasificó en tres grupos mutuamente excluyentes para 13 caracteres cualitativos y 6 cuantitativos de mayor valor "D". Para caracterizar accesiones de jícama se identificaron 10 caracteres cualitativos y 9 cuantitativos con mayor poder discriminante, siendo los caracteres de la flor los de mayor importancia en la clasificación. El color del estandarte de la flor, % de raíces medianas, número de botones florales por inflorescencia y la forma de la raíz fueron caracteres útiles para discriminar grupos y accesiones dentro de grupos, por lo tanto, ellos pueden utilizarse para la descripción inicial de cualquier colección de *P. erosus*. El estudio de correlación mostró r_G y r_F negativas entre el peso de raíz con los caracteres del crecimiento vegetativo y la floración. El ambiente más cálido de Guácimo favoreció el crecimiento vegetativo e hizo menos consistente las r_G y r_F de los caracteres, comparado con Turrialba. En Turrialba, el uso del índice de selección donde la función lineal incluye los caracteres del peso de raíz, diámetro de raíz, días al inicio de la floración, botones florales y el número de hojas, produce el mayor avance genético con eficiencia relativa de 113 %, comparado al que se obtiene al utilizar solamente el peso de la raíz. El índice de selección apropiado en Guácimo es el que contiene los caracteres del peso de raíz, diámetro de raíz, longitud del tallo, días al inicio de la floración y el número de nudos del tallo principal.

MARQUEZ, J.M. 1992. Characterization, genetic parameters and selection indexes of CATIE's yam bean (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) collection. Thesis. Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica. CATIE. 140 p.

ABSTRACT

Key words: yam bean, *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban., systematic characterization, discriminant value, grouping, Heritability index, genetic, phenotypic and environmental correlations, selection index.

The systematic characterization of 40 accessions of *Pachyrhizus erosus* was carried out in Turrialba, Costa Rica, at 602 masl, 9° 53' LN and 83° 38' LW. An aleatory sample of 31 accessions was taken to estimate heritability index (H^2), genetic (r_g), phenotypic (r_f), and environmental (r_e) correlations in Turrialba and Guacimo, through variance-covariance analysis. Selection indexes using characters correlated to the weight of the tuberous root were constructed to predict the generic value of the accessions. This characterization utilized a matrix of distances between accessions for a total of 86 characters, which were used in Ward's hierarchic grouping analysis. Differences between and within groups were analyzed for the highest discriminant value "D" characters and their respective frequency analysis.

The collection is classified in three mutually exclusive groups for 13 qualitative characters and six quantitative ones of the highest "D" value. Ten qualitative and nine quantitative characters with the highest discriminative power were identified to characterize yam bean accessions. The flower characters were the most important in the classification. The color of the flower vexillum, % of medium roots, number of flower buds for inflorescence and root shape were useful characters to discriminate groups and accessions within groups. Therefore, they can be used for the initial description of any *P. erosus* collection. The correlation study showed negative r_g and r_f between root weight and vegetative growth and flowering characters. The warmer climate of Guacimo favored vegetative growth and reduced the consistency of the r_g and r_f of the characters compared to Turrialba. In Turrialba, use of the selection index, where the linear function includes root weight, root diameter, days to first flowering, flower buds and number of leaves characters, produces the better genetic advance with a relative efficiency of 113%, compared to that obtained using only the root weight. The appropriate selection index for Guacimo is that which contains the characters of root weight, root diameter, stem length, days to first flowering and number of knots on the main stem. A relative efficiency of 110% is expected using this index.

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Lista de accesiones de <i>Pachyrhizus erosus</i> y su procedencia	17
Cuadro 2.	Lista de caracteres cualitativos utilizados en el estudio de 40 accesiones de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>). CATIE, 1992.	19
Cuadro 3.	Lista de caracteres cuantitativos utilizados en el estudio de 40 accesiones de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>). CATIE, 1992.	20
Cuadro 4.	Distribución de las accesiones por grupos, según el análisis de agrupamiento jerárquico de Ward.	34
Cuadro 5.	Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre grupos de accesiones de jícama. CATIE, 1992.	35
Cuadro 6.	Caracteres cuantitativos útiles para discriminar grupos de accesiones de jícama. CATIE, 1992.	36
Cuadro 7.	Caracteres cualitativos en orden descendente, según el valor discriminante "D" para separar accesiones de jícama. CATIE, 1992.	38
Cuadro 8.	Caracteres cualitativos de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>) de mayor valor discriminante recalculado (D') para separar accesiones dentro de grupos.	40
Cuadro 9.	Promedio, desviación estándar, valor discriminante D" y "Dw" para los caracteres cuantitativos de la flor y el tallo, en el agrupamiento de accesiones de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>).	42
Cuadro 10.	Promedio, desviación estándar, valor discriminante "D" y "Dw" para los caracteres cuantitativos de la hoja y raíz, en el agrupamiento de accesiones de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>).	43

Cuadro 11.	Promedio, desviación estándar, valor discriminante "D" y "Dw" para los caracteres cuantitativos de la vaina y semilla, en el agrupamiento de accesiones de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>).	44
Cuadro 12.	Caracteres cuantitativos ordenados por su valor discriminante "Dw" para la separación de accesiones de <i>Pachyrhizus erosus</i> . CATIE, 1992 .	45
Cuadro 13.	Caracteres cuantitativos de <i>Pachyrhizus erosus</i> de mayor valor discriminante recalculado (D'w) para separar accesiones.	47
Cuadro 14.	Frecuencia de las accesiones de <i>Pachyrhizus erosus</i> según el estado de los caracteres cualitativos con mayor poder entre los agrupamientos jerarquicos de Ward. CATIE, 1992.	67
Cuadro 15.	Promedio, desviación estándar (STD), coeficiente de variación (CV) e índice de herencia en sentido amplio (H ²) de 26 caracteres de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>). Turrialba y Guácimo, Costa Rica, 1992.	81
Cuadro 16.	Correlaciones genéticas (rG), fenotípicas (rF) y ambientales (rE) entre 13 caracteres de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>). CATIE-Turrialba.	85
Cuadro 17.	Respuesta esperada en rendimiento de la raíz tuberosa de <i>Pachyrhizus erosus</i> , provenientes del uso de varios índices de selección y su eficiencia relativa. Turrialba, Costa Rica, 1992.	88
Cuadro 18.	Correlaciones genéticas (rG), fenotípicas (rF) y ambientales (rE) entre 13 caracteres de jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>). EARTH-Guácimo, Costa Rica.	90
Cuadro 19.	Respuesta esperada en rendimiento de la raíz tuberosa de <i>Pachyrhizus erosus</i> provenientes del uso de varios índices de selección y su eficiencia relativa. Guácimo, Costa Rica, 1992.	93

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Hábito de floración por grupos.	49
Figura 2. Número de botones florales por inflorescencia.	50
Figura 3. Porcentaje de plantas fértiles (con vainas)	52
Figura 4. Porcentaje de raíces medianas (500-1000 g).	53
Figura 5. Dureza de la pulpa de la raíz.	55
Figura 6. Porcentaje de raíces pequeñas.	56
Figura 7. Color del estandarte de la flor.	57
Figura 8. Porcentaje de materia seca de las raíces.	59
Figura 9. Hábito de crecimiento.	60
Figura 10. Período de floración por parcela.	62
Figura 11. Tamaño de la semilla.	63
Figura 12. Forma de la raíz tuberosa.	65
Figura 13. Color de la semilla.	66
Figura 14. Fenograma de 13 accesiones de <i>Pachyrhizus erosus</i> en el agrupamiento 1. CATIE, 1992.	74
Figura 15. Fenograma de 15 accesiones de <i>Pachyrhizus erosus</i> en el agrupamiento 2. CATIE, 1992.	76
Figura 16. Fenograma de 12 accesiones de <i>Pachyrhizus erosus</i> en el agrupamiento 3. CATIE, 1992.	78

I. INTRODUCCION

La conservación de recursos Fitogenéticos es el proceso de preservar la variabilidad genética de las colecciones de plantas de importancia económica actual o potencial. La necesidad de conservar el germoplasma indígena, así como la búsqueda y difusión de nuevas fuentes alimenticias ha originado el estudio biosistemático del género *Pachyrhizus*, donde *erosus* ha sido la especie cultivada con el más alto potencial para el futuro (Sorensen, 1988).

La importancia de *Pachyrhizus erosus* radica en que es un cultivo autógeno, propagado por semilla, capaz de realizar simbiosis en el suelo con bacterias fijadoras de nitrógeno, sus raíces tuberosas engrosadas suculentas y azucaradas se consumen crudas. Estas raíces presentan un buen contenido de proteína, son ricas en calcio, hierro, tiamina, riboflavina, niacina y ácido ascórbico. Las raíces tuberosas, además de ser utilizadas para el consumo humano, también se utilizan en la alimentación animal, el componente químico llamado Rotenona puede extraerse de las semillas maduras y utilizarse como insecticida; en tanto que la parte vegetativa de la planta es usada como forraje luego de cosechar las raíces tuberosas (Sorensen, 1990). Estas características hacen de esta especie una alternativa que merece su caracterización sistemática para promover su utilización en América tropical.

La conservación y utilización de los recursos genéticos, según Van der Have (1979), son componentes inseparables de la mejora genética. Por su parte, la caracterización sistemática permite conocer la variación existente dentro de las colecciones y facilita la selección

de los genotipos más aptos para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, varios de los caracteres de importancia económica se asocian con un bajo índice de herencia, por lo general, altamente influenciados por las condiciones ambientales.

Lo anterior sugiere la necesidad de estudiar en *Pachyrhizus erosus* las cantidades relativas de varianza genética de los caracteres individuales; así como las correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales entre los caracteres, a fin de que algunos componentes menos afectados por la variación ambiental, proporcionen una base más sólida y eficiente para la selección. La estimación de parámetros genéticos como el índice de herencia, correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales permiten generar información valiosa para cualquier programa de utilización de recursos vía mejoramiento.

Con base en estos antecedentes generales el presente estudio tuvo como objetivos:

1. Identificar los caracteres cuantitativos y cualitativos más confiables y de alto valor discriminante que permitan reconocer relaciones entre las accesiones de jícama y su agrupamiento.
2. Establecer grados de similitud entre y dentro de grupos de accesiones.
3. Realizar la caracterización morfológica de 40 accesiones de diferente procedencia para conocer la variabilidad genética e identificar grupos de genotipos afines.

4. Obtener estimadores de parámetros genéticos (índice de herencia (H^2), correlaciones genéticas (r_G), fenotípicas (r_F) y ambientales (r_E)) para los caracteres cuantitativos relacionados con el rendimiento de raíces tuberosas en *Pachyrhizus erosus*.

5. Construir índices de selección cuya función lineal incluya caracteres correlacionados con el rendimiento de raíces tuberosas para facilitar una mejor predicción del mérito genético de las accesiones en estudio.

II. REVISION DE LITERATURA

La Universidad de Copenhagen, Dinamarca, junto con otras instituciones internacionales, ha llevado a cabo el estudio biosistemático del género *Pachyrhizus* que según Sorensen (1990), consiste en la evaluación del género como un cultivo de alto potencial de rendimiento de raíces con posibilidades de mejorarlo a través de hibridación interespecífica.

La distribución y ecología del género ha sido ampliamente revisada y estudiada por Sorensen (1990). El rango altitudinal para la especie *Pachyrhizus erosus* va de 0 hasta 1750 msnm, en el área de Centro América y parte de México. Su habitat incluye áreas con estaciones secas anuales, bosques decídúos hasta aquellas zonas con denso bosque húmedo tropical.

La importancia fundamental de la caracterización morfológica de *Pachyrhizus erosus*, consiste en estimar la diversidad genética para promover la información sobre las relaciones entre las accesiones, principalmente cuando se incluye material silvestre.

1. Caracterización

Sorensen (1988), realizó una revisión taxonómica del género *Pachyrhizus* con el propósito de establecer la distribución de las especies y su variación. Las tres especies cultivables corresponden a *P. erosus*, *P. tuberosus* y *P. ahípa*, en tanto que *P. ferrugineus* y *P. panamensis* ocurren solamente como materiales silvestres. Los materiales silvestres de *Pachyrhizus erosus* son disponibles

en áreas de Guatemala y Costa Rica, donde fueron colectados por Sorensen en 1985 y caracterizados por el tamaño pequeño de sus semillas, vainas y raíces tuberosas.

Actualmente no se reportan estudios directos sobre caracterización sistemática dentro de la especie *erosus* ya que la revisión taxonómica se ha orientado a la diferenciación entre las especies del género. Los caracteres morfológicos que definen las características del género corresponden al hábito de crecimiento prostrado de tallos generalmente herbáceos. Las alas y quillas cileadas o glabras fue el caracter usado por Clausen (1945) para delimitar *Pachyrhizus erosus*, ya que ésta se caracteriza por ser de tipo glabra. El contorno de los foliolos terminales de la hoja es extremadamente variable, abarcando desde el tipo entero, dentado, lobulado, palmado a linear. Esta variación se ha observado incluso dentro de plantas de la misma localidad por lo que el contorno del foliolo no es un buen caracter para la separación de variedades dentro de la especie. La longitud de la flor usado por Clausen (1945), fue solamente útil en la separación de *erosus* de *ferrugineus* como especies. La relación diámetro/longitud de la vaina es importante para distinguir especies (Sorensen, 1988).

El color de las flores sobre la base de observaciones preliminares parece estar basado en el efecto epistático de dos genes. Las flores son púrpuras o violetas cuando hay alelos dominantes en ambos genes, aunque varios grados de flores púrpuras se han observado, de modo que la herencia del color de la flor en jícama sugiere estar controlado por más de dos genes (Grum, 1990).

2. Variación dentro de *Pachyrhizus erosus*

Bansal (1990), con base en ensayos varietales en la Isla de Tonga, indica que las formas cultivadas de *P. erosus* presentan diferencias entre accesiones para rendimiento, porcentaje del contenido de materia seca y otros caracteres morfológicos como el hábito de crecimiento. Esta variación no es evidente dentro de las accesiones de la especie *ahipa* y *tuberosus*; de manera, que los cruzamientos entre accesiones de *erosus*, tanto silvestres como cultivadas provenientes de diferente área geográfica, pueden promover la variación genética para nuevas posibilidades de utilización.

3. Taxonomía numérica

Crisci y López (1983) indican que la clasificación numérica consiste en el agrupamiento de objetos u organismos en clases, sobre la base de atributos que poseen en común y sus relaciones. La taxonomía como tal, es el estudio teórico de la clasificación, incluyendo sus bases, principios, procedimientos y reglas. Según Sneath y Sokal (1973) la taxonomía numérica consiste en el agrupamiento de unidades taxonómicas por métodos numéricos sobre la base del estado de sus características.

Hull (1970) indica que los fundamentos de la clasificación biológica tienen variedad de opiniones y se considera que existen cuatro doctrinas: el esencialismo, cladismo, evolucionismo y feneticismo. Esta última es la comúnmente utilizada y sus principios de aplicación se detallan por Crisci y López(1983):

- a. Las clasificaciones deben efectuarse con un gran número de caracteres, que se toman de todas las partes del cuerpo de los organismos y de todo su ciclo vital.
- b. Todos los caracteres utilizados tienen la misma significancia e importancia en la formación de los grupos.
- c. La similitud total entre dos entidades es la suma de la similitud para cada uno de los caracteres utilizados en la clasificación.
- d. Los grupos de taxones a formar se reconocen por una correlación de caracteres diferentes.
- e. La clasificación es una ciencia empírica, en la cual la experiencia sensible desempeña el papel preponderante y, por lo tanto, está libre de inferencias genealógicas.
- f. Las clasificaciones deben basarse exclusivamente en la similitud fenética, entendiéndose por "fenético" cualquier tipo de carácter utilizable en la clasificación, incluyendo los morfológicos, fisiológicos, ecológicos, etológicos, moleculares, anatómicos, citológicos, etc.

Crici y López (1983), indican que las técnicas numéricas constituyen el lenguaje matemático de la clasificación biológica y al igual que Anderberg (1973), coinciden en que los pasos elementales de un análisis de agrupamiento son:

1. Elección de las Unidades Taxonómicas Operativas (OTU)
2. Elección de los caracteres
3. Construcción de una matriz básica de datos
4. Obtención de un coeficiente de similitud para cada par posible de OTU
5. Construcción de una matriz de similitud.
6. Conformación de grupos mediante técnicas de análisis de agrupamiento (estructura taxonómica)

Sneath y Sokal (1973) indican que el parecido o similitud entre OTU's es cuantificable aplicando un coeficiente de similitud, cuya elección está en función de la escala de medida de los estados del carácter en la matriz básica de datos. En la práctica, los coeficientes de similitud se dividen en; coeficientes de distancia, útiles en datos doble-estado, multiestados y mixtos; coeficientes de asociación, para datos doble estado, y ; coeficientes de correlación para datos multiestados cuantitativos.

Por otra parte, la matriz de similitud es insuficiente para expresar las relaciones entre la totalidad de unidades taxonómicas; por cuanto sólo exponen similitudes entre pares de dichas unidades, por ello, se necesita de técnicas de análisis de matrices de similitud o disimilitud para el reconocimiento de tales relaciones. Entre estas técnicas se encuentra el análisis de agrupamiento (Cluster analysis) que integra en grupos aquellas unidades de mayor grado de similitud.

Peeters y Martinelli (1989) manifiestan que con el incremento de las colecciones de germoplasma, los algoritmos multivariados tales como el análisis de agrupamiento jerárquico y sus variantes en métodos de ligamiento simple, ligamiento completo, método del centroide, así como el método de Ward, parecen particularmente útiles.

El método de Ward fue utilizado por López (1991) para el agrupamiento de 106 clones de *Ipomoea batata* de la colección del CATIE, con base en 52 caracteres. Según Ward (1963), el método tiene como objetivo encontrar en cada fase aquellos dos grupos cuya unión produzca el mínimo incremento en la suma total de cuadrados del error dentro del grupo.

En el caso específico de *Pachyrhizus erosus*, no existen informes sobre la utilización de análisis multivariado para el agrupamiento de accesiones.

4. Valor discriminante de los caracteres

Engels (1983a) en la caracterización sistemática de 32 clones de cacao de la colección del CATIE, enfatiza la importancia de identificar los caracteres cuantitativos con mayor propiedad para diferenciar los clones. Enríquez y Soria (1968) utilizaron la proporción de varianza entre y dentro de clones de cacao ("P") como indicación de la variación entre clones para una cierta característica. Sin embargo, la magnitud de "P" no es un valor discriminante confiable para separar grupos pues toma valores muy altos o máximos cuando las medias de las unidades taxonómicas se concentran en los extremos del intervalo de medida, aún cuando varias unidades taxonómicas coincidan en la media.

Engels (1983a) manifiesta que tanto la prueba Duncan como Tukey no se afectan por la concentración de las medias, de manera que el valor o índice "D" es más confiable para separar grupos y unidades taxonómicas dentro de grupos. Este valor discriminante o índice "D" es la proporción de diferencias significativas que detecta la prueba del rango múltiple de Duncan, en función del número total de pares de comparaciones posibles dentro de un grupo de unidades taxonómicas. De esta manera, "D" es una expresión de la variabilidad existente entre las unidades taxonómicas y se advierte que los valores más altos corresponden a grupos cuyas unidades de estudio son más heterogéneos. Por el contrario, cuando las unidades en el grupo están estrechamente relacionadas, "D" adquiere un valor mínimo para el carácter en estudio.

La comparación de los valores "D" entre un conjunto de caracteres permite seleccionar aquellos que tienen el mayor valor discriminante y por ende, los más eficientes para la identificación de clones, variedades, accesiones, dentro de poblaciones.

Engels (1983a) agrega, que cuando se tienen varios grupos de unidades taxonómicas, los valores "D", calculados al comparar las accesiones en cada grupo, pueden unirse dando lugar a un nuevo valor, "Dw", al promediar los valores "D" y ponderarlos por el número de unidades existentes en cada grupo. El carácter con mayor "Dw" se identifica como el más discriminante para la separación de accesiones y los "Dw" restantes deberán recalcularse mediante la sustracción de la información que comparten el más discriminante. Para esto es necesario utilizar una matriz de correlaciones entre los caracteres involucrados para conocer el grado de asociación y la información que comparten entre sí. La fórmula indica que $D'w = Dw(1-r^2)$, donde el factor $(1-r^2)$ es el coeficiente de no determinación que expresa la proporción de la varianza de un carácter que no ha sido explicada por otro.

En la taxonomía de plantas es frecuente el uso de caracteres como la forma, el color, textura, dureza, etc. Este tipo de caracteres cualitativos tienen estados que son mutuamente excluyentes, es decir, expresiones fenotípicas discontinuas de una característica. Las fórmulas de Pankhurst (1978) permiten calcular el valor discriminante de accesiones dentro de grupos para los caracteres cualitativos sobre la base del número de accesiones (o taxas) que pueden separarse (numerador) y el número total de pares (denominador). Engels (1983b) implementó el ajuste de este valor "D" originando un nuevo valor "D'", mediante :

$$D' = D(1-r^2)$$

Tanto los valores de "D'w" para caracteres cuantitativos como los "D'" para los cualitativos son completamente comparables por cuanto ambos expresan la proporción de unidades taxonómicas que pueden separarse con cada uno, ajustado por la información que es compartida con otros caracteres.

5. Correlaciones en *Pachyrhizus erosus*

La correlación genética es una medida de la magnitud a la cual los mismos genes o genes estrechamente ligados causan variación simultánea en dos diferentes caracteres (Hohenboken, 1985). La selección dirigida modifica la frecuencia alélica de los genes involucrados en la expresión del carácter cuantitativo, afectando a la media y varianza de la población en las generaciones siguientes.

Pleiotropía y ligamiento son las dos posibles causas de una correlación genética. Si el ligamiento es la principal causa se espera que la correlación decrezca a través de muchas generaciones de apareamiento aleatorio mediante el entrecruzamiento de la población. Si es por efectos pleiotrópicos, deberá ser similar en magnitud y dirección en cualquier población en la cual estos mismos genes estén segregando en frecuencias similares.

Sinha *et al* (1977a y 1977b) estudió la variación genética y correlaciones entre 11 caracteres cuantitativos del crecimiento vegetativo, rendimiento de raíz y semilla, considerando 30 variedades introducidas de México, una de Filipinas y 3 locales de India. Bajo un diseño de Bloques Completos al Azar con 3 repeticiones y 5 plantas por

parcela, estimó el índice de herencia en sentido amplio (H^2) para cada carácter, encontrando el siguiente orden de alta heredabilidad: Peso de 100 semillas (98,8%), días a primera flor (95%), número de hojas (91,2%), diámetro de la raíz (90,4%), largo de la raíz (89,9%), largo del tallo principal (85.4%) y días a madurez de vaina (83.3%). El número de ramas, número de vainas, rendimiento de semilla y rendimiento de raíz por planta mostraron baja heredabilidad (42.12% - 68.79%).

Estos autores encontraron adicionalmente que la correlación genotípica para muchos caracteres fue mayor que la correlación fenotípica, aunque ambas fueron de alta magnitud. Correlaciones fenotípicas^a negativas se encontraron para el rendimiento de raíz con los días a primera flor, días a madurez de vaina, longitud de la raíz, número de hojas por planta y número de vainas por planta. Aunque el estudio no consideró diferentes ambientes, se indica que para obtener altos rendimientos en *Pachyrhizus erosus* deben seleccionarse aquellas accesiones de mayor peso de 100 semillas y mayor diámetro de las raíces.

Grum (1990), utilizando los resultados anteriores calculó la tasa esperada de respuesta a la selección con base en la respuesta a la selección indirecta versus selección directa. Este autor sugiere que dada la alta heredabilidad para la longitud de la raíz y su tasa de respuesta a la selección con el rendimiento de raíz (1,05), seleccionar las raíces más cortas dará una respuesta esperada a la selección tan alta como aquella que se pueda obtener para la selección directa. Sin embargo, debe considerarse con precaución al extrapolarse a otros ambientes, debido a que el índice de herencia es muy dependiente de factores ambientales (Falconer, 1989) como la

unidad experimental que se toma como base de estimación, la naturaleza de la variabilidad genética del carácter y la población de inferencia (Cornide *et al*, 1985).

Pachyrhizus erosus al ser un cultivo de raíces propagado por semilla, la interacción entre las fases de tuberización y floración es muy significativa. Según Grum (1990), se debe decidir inicialmente si se selecciona por una combinación de los dos caracteres o bien seleccionar para una variedad de alto rendimiento de raíces tuberosas cuando se eliminan las flores.

6. Índice de selección

Las correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales entre caracteres no son de interés únicamente en la consideración teórica de la herencia cuantitativa sino también tienen un gran valor práctico cuando se desea que la selección cambie dos o más características simultáneamente. Además, utilizar variables correlacionadas hace más eficiente la selección para el carácter de importancia económica, cuando éste es muy influenciado por variaciones ambientales (Robinson *et al* 1951).

Smith (1936) aplicó el concepto de función discriminante de Fisher para desarrollar un índice de selección cuya ecuación lineal se basa en características observables como la mejor guía disponible para estimar el valor genético de cada línea o variedad. Hazel (1943) extendió este procedimiento a la selección de individuos en una población animal y su contribución más importante fue definir un método para estimar las varianzas y covarianzas genéticas requeridas para derivar el índice; definiendo el genotipo agregado como una combinación lineal de valores

genéticos , cada uno ponderado por su valor económico relativo.

Hazel y Lush (1942) demostraron que la selección basada sobre un índice es más eficiente, comparado con la eficiencia relativa del método "Tandem" y el método de niveles de elección independiente.

Algunas aplicaciones en el mejoramiento de plantas se encuentran en maíz por Robinson *et al* (1951); algodón Miller *et al* (1958); tabaco, Murty y Pavate (1962); Jute, Shukla y Singh (1967); mijo, Verma y Singh (1971); col, Bradshaw (1987).

Ronningen y Van Vleck (1985) manifiestan que la teoría del índice puede explicarse al asumir que se cuenta con varios genotipos, cada uno con la misma información ($X_1, \dots, \dots X_n$) donde nX 's son los registros sobre varias características. Esta información se utiliza para predecir el genotipo agregado, G , el cual se refiere al mérito genético aditivo:

$$G = \sum a_i G_i$$

La función lineal del índice (I), será:

$$I = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Donde los β 's son los factores ponderadores que permiten optimizar las propiedades biométricas del índice. Las X 's se pueden expresar como desviaciones de la media de la población ($X_i = X_i - \mu_i$).

Este índice (I), utilizado como predictor del valor genético (G), tiene como propiedad más importante la de

maximizar la correlación entre G e I (r_{IG}), además, la probabilidad de seleccionar el mérito o valor genético más alto de la muestra de genotipos es máxima, de manera que el avance genético en cualquier ciclo de selección sea máximo. Estas propiedades fundamentan la eficiencia del índice.

En algunas circunstancias puede suceder que una característica se encuentra a un nivel óptimo deseado, pero está correlacionada con otras de importancia económica y la selección ordinaria por éstas últimas puede conducir a respuestas correlacionadas no deseables en la característica del nivel óptimo (Van Vleck, 1974). El problema es maximizar la función $G = a_1G_1 + \dots + a_nG_n$, y al mismo tiempo mantener otras características a su nivel genético presente.

La solución fue dada por Kempthorne y Nordskog (1959), mediante la utilización de multiplicadores Lagrange, identificando a esta modificación como el índice restringido. La restricción se expresa de forma que la respuesta correlacionada sea cero o cambie a un valor constante predeterminado :

$$\Delta G_i = [\text{Cov} (G_i, I^*) / \sigma_{I^*}] D = 0$$

donde :

ΔG_i = Cambio genético en la característica i

I^* = Índice restringido

σ_{I^*} = Desviación estandar del índice restringido

D = Intensidad de selección en unidades estandar

III. MATERIALES Y METODOS

1. Caracterización sistemática de las accesiones

1.1 Ubicación

La siembra de las accesiones para su caracterización sistemática se realizó en la Estación Experimental "La Montaña", CATIE-Turrialba, Costa Rica, ubicada a 602 msnm, 9° 53' de latitud norte, 83° 38' de longitud oeste, con una temperatura promedio diaria de 22,5 °C y 2645 mm de precipitación anual. Según Aguirre (1971) las características del suelo corresponden a la clasificación Typic Dystropept, con textura Franco-arcillosa, fertilidad moderada con niveles bajos de acidez (Cuadro 1A).

1.2 Material experimental

Las 40 accesiones evaluadas de *Pachyrhizus erosus* corresponden a una parte de la colección de jícama que conserva el Area de Recursos Fitogenéticos del CATIE, cuya procedencia incluye muestras de México y Centro América (Cuadro 1).

Cada accesión fue evaluada en 2 surcos a 20 plantas/surco, a una distancia de siembra de 0,75 m entre surcos y 0,30 m entre plantas.

1.3 Duración y manejo de las accesiones

La caracterización sistemática tuvo una duración de 7 meses correspondientes al desarrollo del cultivo de jícama

Cuadro 1. Lista de accesiones de *Pachyrhizus erosus* y procedencia.
CATIE, 1992.

ACCESSION	PAIS	LOCALIDAD
EC-509	COSTA RICA	Turrialba, Cartago
KW-223	COSTA RICA	Puntarenas
EC-556 *	EL SALVADOR	CENTA
EC-041	GUATEMALA	Jalpatagua, Jutiapa
EC-214 Rojo	GUATEMALA	San Andrés, El Petén
EC-214 Café	GUATEMALA	San Andrés, El Petén
EC-120B	GUATEMALA	Jutiapa
EC-120A Rojo	GUATEMALA	Jutiapa
EC-040 *	GUATEMALA	Jalpatagua, Jutiapa
EC-120A Café *	GUATEMALA	Jutiapa
EC-533	MACAU	-----
KW-522 *	MAURITANIA	School of Agriculture University
EC-531	MEXICO	Oaxaca
EC-503	MEXICO	C.A.E.B., Celaya, Guanajuato
EC-539	MEXICO	-----
EC-032	MEXICO	Yucatán
EC-537	MEXICO	-----
EC-540	MEXICO	-----
EC-541	MEXICO	-----
EC-538	MEXICO	-----
EC-502	MEXICO	C.A.E.B., Celaya, Guanajuato
EC-104	MEXICO	Chacsinkin, Yucatán
EC-560	MEXICO	Ahuacatlán, Nayarit
EC-557	MEXICO	La Vega de San Juan, Celaya
EC-510	MEXICO	Los Pueblos, Campeche
EC-511	MEXICO	Chiapas, Tapachula
EC-550	MEXICO	San Juan, Celaya Guanajuato
EC-201	MEXICO	C.A.E.B., Bajío, Celaya
EC-536	MEXICO	-----
EC-534 *	MEXICO	-----
EC-006 *	MEXICO	Oaxaca
EC-542 *	MEXICO	-----
EC-535 *	MEXICO	-----
EC-523	NIGERIA	IITA, Ibadán
EW-228	REP. DOMINICANA	Santo Domingo
EW-227	REP. DOMINICANA	Santo Domingo
EC-234 Café	TAILANDIA	Suwan research Station
EC-117	TAILANDIA	-----
EC-234 Rojo*	TAILANDIA	Suwan Research Station
EC-532	U.S.A.	Miami

* Accesiones no consideradas en la estimación de parámetros genéticos.

(diciembre-junio). El manejo agronómico fue tradicional, sin aplicación de fertilizantes, riegos, reguladores del crecimiento y otros pesticidas. La cosecha de las raíces tuberosas se realizó a los 140 días y la cosecha de las vainas en su estado de madurez fisiológico, aproximadamente a los 210 días después de la siembra.

1.4 Caracteres y registro

Se utilizó la lista original de caracteres de jícama (Morera, 1992), Unidad de Recursos Fitogenéticos del CATIE; la cual fue modificada y ampliada durante este estudio (Cuadros 2 y 3). Los estados de cada carácter, unidades de medida y fases del cultivo en el que se registraron, se amplían en el Cuadro 3A. Los caracteres cuantitativos se registraron en 30 plantas de cada accesión, en tanto que los caracteres cualitativos se registraron en 10 plantas. La matriz básica de datos se obtuvo mediante el registro de medidas de tendencia central (media y moda).

Los caracteres cuantitativos como el porcentaje de raíces pequeñas, medianas, grandes, porcentaje de plantas fértiles, número de botones florales por inflorescencia, porcentaje de materia seca de raíces, período de floración por parcela, tamaño de la semilla y días a la madurez fisiológica de la vaina, fueron transformados a caracteres cualitativos mediante la creación de clases ordinales para facilitar la categorización de las accesiones (Cuadro 3A).

1.5 Matriz de similitud y estructura taxonómica

Siendo los caracteres utilizados una mezcla de datos continuos y discretos, la estimación del parecido taxonómico entre cada par de accesiones se realizó mediante una

Cuadro 2. Lista de caracteres cualitativos utilizados en el estudio de 40 accesiones de jícama (*Pachyrhizus erosus*). CATIE, 1992.

CARACTERES CUALITATIVOS		
1.	PFP	Período de floración/parcela
2.	BFI	Número de botones florales/inflorescencia *
3.	COLE	Color del estandarte de la flor
4.	COLA	Color de las alas de la flor
5.	COLQ	Color de las quillas de la flor
6.	DECOL	Decoloración de la flor
7.	COLSE	Color de los sépalos de la flor
8.	PUBSEP	Pubescencia de los sépalos
9.	CP	Color del pedúnculo igual al de los sépalos
10.	HABF	Hábito de floración
11.	HCRECI	Hábito de crecimiento
12.	PCRECI	Patrón de crecimiento
13.	VCRECI	Velocidad de crecimiento del tallo principal *
14.	LE	Longitud del entrenudo *
15.	CTALL	Color del tallo
16.	PUBTAL	Pubescencia del tallo
17.	TLOB	Tipo de lóbulos en el foliolo central de la hoja
18.	FLOB	Forma del lóbulo central del foliolo principal
19.	PFOL	Pubescencia de la base de los foliolos
20.	COLH	Color de la hoja madura
21.	CESP	Color de las espículas de hojas maduras
22.	CPERI	Color de la peridermis de la raíz tuberosa
23.	DSR	Defectos de la superficie de la raíz tuberosa
24.	FRAIZ	Forma de la raíz tuberosa
25.	FCOS	Facilidad de la cosecha de raíces
26.	DURPUL	Dureza de la pulpa de raíz
27.	TAM3	Porcentaje de raíces grandes (>1000g)
28.	TAM2	Porcentaje de raíces medianas (500-1000g)
29.	TAM1	Porcentaje de raíces pequeñas (< 500g)
30.	PUVAI	Pubescencia de la vaina inmadura
31.	PMS	Porcentaje de materia seca de raíces
32.	COLVAI	Color de la vaina inmadura
33.	CVAMAD	Color de la vaina en su madurez fisiológica
34.	CURVAI	Curvatura de la vaina
35.	CONST	Intensidad de la constricción de la vaina
36.	DEHIS	Dehiscencia de la vaina madura
37.	FERT	Porcentaje de plantas fértiles(con vainas)
38.	DMV	Días a la madurez fisiológica de la vaina *
39.	COLSEM	Color de la semilla
40.	BRISEM	Brillo de la semilla
41.	FSEM	Forma de la semilla
42.	TAMSEM	Tamaño de la semilla

* Caracteres utilizados en la estimación de parámetros genéticos

Cuadro 3. Lista de caracteres cuantitativos utilizados en el estudio de 40 accesiones de jicama (*Pachyrhizus erosus*). CATIE, 1992.

CARACTERES CUANTITATIVOS	
1. INIF	Número de días al inicio de la floración *
2. DF	Días al 50% de floración/parcela
3. PFPTA	Período de floración/planta
4. MBFI	Número máximo de botones florales por inflorescencia
5. LF	Longitud de la flor (mm) *
6. AE	Ancho del estandarte de la flor (mm) *
7. NRAMPTA	Número de ramas/planta *
8. NRAMINF	Número de ramas con inflorescencia
9. INFR	Número de inflorescencias por rama *
10. LINE	Longitud del segmento con botones florales (cm) *
11. LRAQUIS	Longitud del raquis de la inflorescencia (cm)
12. PROPFLOR	Relación LINE/longitud total de la
13. DENTREN	Diámetro del entrenudo (mm) *
14. LT	Longitud del tallo principal de la planta (cm) *
15. NUD	Número de nudos del tallo principal *
16. LFOLP	Longitud del foliolo principal de la hoja (cm) *
17. AFOLP	Ancho del foliolo principal de la hoja (cm) *
18. RALFOLP	Relación ancho/largo, del foliolo principal
19. LPECIOL	Longitud del peciolo de la hoja (cm) *
20. NH	Número de hojas/planta *
21. DRAIZ	Diámetro de la raíz (cm) *
22. LRAIZ	Longitud de la raíz (cm) *
23. DRSLR	Relación diámetro/largo, de la raíz
24. GCORT	Grosor de la corteza de raíz (mm)
25. RENDRA	Rendimiento en fresco de raíces (Kg/ha)
26. PR	Peso de raíz/planta (g) *
27. AGRIET	Proporción de raíces agrietadas
28. DBARR	Proporción de raíces dañadas por insectos
29. BRIX	Grados brix de la raíz (%)
30. LVAI	Longitud de la vaina, (mm) *
31. DVAI	Diámetro de la vaina, (mm) *
32. DSLVAI	Relación diámetro/longitud de la vaina
33. NMAXVAI	Número máximo de vainas/planta
34. NLOC	Número de lóculos/vaina
35. NSV	Número de semillas/vaina *
36. RENSEPTA	Rendimiento de semilla/planta fértil (g)
37. RENDKGHA	Rendimiento de semilla, (Kg/ha)
38. LSEM	Longitud de la semilla, (mm)
39. ASEM	Ancho de la semilla, (mm)
40. RALSEM	Relación ancho/longitud de semilla
41. GROSEM	Grosor de la semilla, (mm)
42. PESEM14	Peso de 100 semillas a 14 % de humedad (g)
43. RMATSEC	Rendimiento de materia seca de raíces (Kg/ha)
44. PROTEI	% de proteína cruda en base seca, de la raíz *

* Caracteres utilizados en la estimación de los parámetros genéticos.

ponderación de coeficientes de distancia. Con los caracteres discretos el parecido taxonómico se obtuvo por medio del coeficiente de asociación. Este resultó al comparar los estados de cada accesión para los 42 caracteres cualitativos (cuadro 3A). Se asignó un valor de 1 cuando ambos estados coincidieron y 0 para el caso contrario, según la fórmula:

$$S_{ij} = \sum s_{ij}/n$$

Donde:

n = al número de caracteres cualitativos

S_{ij} = Coeficiente de asociación entre las accesiones i y j

Con este procedimiento se obtuvo una matriz de similitud la que posteriormente se transformó en una matriz de distancia (D_1), mediante el complemento de S_{ij} :

$$D_{1(i,j)} = [1 - S_{ij}]$$

A su vez, se calculó una matriz de distancia Euclideana (D_2) utilizando los 44 caracteres continuos estandarizados mediante la fórmula dada por Clifford y Stephenson (1975):

$$D_{2(i,j)} = \sum_k (X_{ki} - X_{kj})^2/n$$

Donde: X_{ki} = registro estandarizado del carácter k en la accesión i

X_{kj} = registro estandarizado del carácter k en la accesión j

Finalmente, la matriz de distancia Euclideana fue dividida por su máximo elemento.

En ambas matrices, los valores de distancia oscilaron entre 0 y 1, siendo los valores cercanos a 0 los de máxima

disimilitud entre accesiones.

La matriz final de distancia se obtuvo ponderando D_1 y D_2 de acuerdo al número de caracteres que intervinieron en la construcción de cada uno:

$$D = (n_1 D_1 + n_2 D_2) / (n_1 + n_2)$$

La estructura taxonómica de las accesiones de *Pachyrhizus erosus* se analizó por medio del agrupamiento jerárquico de Ward (1963). El fundamento del método consiste en reducir al máximo la "Función objetivo" o pérdida de información, expresada en este caso por la gran suma de desviaciones al cuadrado de las medias de todos los caracteres utilizados.

El algoritmo considera que al inicio cada accesión es un grupo con una observación. En esta fase la suma de cuadrados del error dentro de grupos es cero. En las subsiguientes fases el algoritmo plantea que el número de grupos se reduce en 1, debido a la unión de aquellos dos grupos cuya combinación produce el mínimo incremento posible en la suma de cuadrados total del error correspondiente a un modelo cuyas únicas fuentes de variación fueron grupos, error y total. Este proceso continuó $n-1$ veces hasta que al final las 40 accesiones constituyeron un único grupo de máxima varianza.

La elección del número de grupos de accesiones se hizo en base a los criterios del Pseudo F y Pseudo t^2 utilizando el procedimiento CLUSTER del software estadístico SAS.

1.6 Determinación del valor discriminante entre grupos

1.6.1. Caracteres cualitativos

El valor discriminante para separar grupos se estimó con base en el análisis de frecuencias y sus estadísticos de Cramer (V), coeficiente de contingencia (P) y la significancia de la prueba de Chi-cuadrado (X^2). La combinación de alta significancia de X^2 y los valores altos para los coeficientes de asociación, determinaron los caracteres para los cuales los grupos de accesiones formados muestran diferencias significativas.

1.6.2. Caracteres cuantitativos

El valor discriminante se determinó a través del índice "D" de Engels (1983a) utilizando las medias de los grupos en las comparaciones múltiples de Duncan. Esto permitió identificar aquellos caracteres cuyo valor promedio difiere significativamente entre los grupos jerárquicos al 5% de probabilidad.

1.7. Determinación del valor discriminante entre accesiones dentro de grupos

1.7.1. Caracteres cualitativos

El valor discriminante para diferenciar accesiones dentro de grupos se determinó por medio del índice "D" de Pankhurst (1978) y de Engels (1983b) cuya fórmula para un carácter binario es:

$$D = \frac{nI \times nII}{N(N-1)/2}$$

Donde n_I se refiere al número de accesiones que presentan el estado I ; n_{II} es el número de accesiones con el estado II y N es el número total de accesiones. Para caracteres con más de tres estados se utilizó la fórmula general :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k n_i * n_j}{N(N-1)/2}$$

donde k es el número de estados del carácter

El carácter con el mayor valor "D" se identificó como el de mayor poder discriminante, debiendo recalcular los "D" para los caracteres restantes usando la fórmula $D' = D(1-r^2)$, siendo r el coeficiente de correlación del rango de Spearman, calculado entre todos los caracteres cualitativos.

El poder discriminante de los caracteres cuantitativos para separar grupos de accesiones, se determinó a través del índice "D" de Engels (1983a), utilizando las medias de los grupos en las comparaciones múltiples de Duncan. Con ello se identificaron aquellos caracteres cuyo valor promedio difiere significativamente de un grupo a otro, al 5% de probabilidad.

1.7.2. Caracteres cuantitativos

Para determinar el valor discriminante entre accesiones dentro de grupos, se utilizó el índice de Engels (1983a). Este índice "D" está definido en cada grupo como la

proporción, entre el número de diferencias significativas detectadas por la prueba de Duncan y el número total de pares de comparaciones posibles dentro de cada grupo. Entre menor es el valor "D" de cada grupo mayor es la similitud entre las accesiones del mismo y, por el contrario, los mayores valores "D" indican que las accesiones muestran más diferencias para ese carácter. Los valor de "D" de cada grupo se unieron para originar un valor único "Dw". El "Dw" se calculó para cada carácter como el promedio de los "D" correspondientes a cada grupo, ponderado por el número de accesiones en el mismo. El carácter con el mayor valor "Dw" se identificó como el más discriminante y los valores restantes fueron recalculados a un valor "D'w" mediante la sustracción de la información que es compartida con éste. Para esto fue necesario obtener el coeficiente de correlación de Pearson entre todos los caracteres cuantitativos y la fórmula planteada por Engels (1983a), que se describe como:

$$D'w = Dw (1-r^2) ,$$

donde, r^2 es el coeficiente de correlación al cuadrado entre el carácter en estudio y el más discriminante. Esto, origina un nuevo orden de valores "D'w" sobre los cuales se elige nuevamente el mayor valor y se identifica como el segundo más discriminante. Una nueva modificación de los "D'w" restantes se realiza con el procedimiento anteriormente descrito. Este proceso se lleva a cabo $n-1$ veces , según los n caracteres cuantitativos.

2. Estimación de parámetros genéticos

2.1. Ubicación

Se establecieron dos experimentos para el estudio de variación genética y correlaciones, el primero en la Estación Experimental "La Montaña" en CATIE, Turrialba y el segundo en la Finca Didáctica de la Escuela Agrícola de la Región Tropical Húmeda (EARTH), localizada en el Cantón de Guácimo, provincia de Limón a una altitud de 12 msnm, 10°13' de latitud norte y 83°47' de longitud oeste. El suelo es Typic Hapluland, de textura franco-arenosa, fertilidad moderada y nivel de acidez intermedia (Sancho *et al.*, 1989).

La concentración de los elementos extraíbles se detalla en los Cuadros 1A y 2A.

2.2. Acciones, diseño experimental, manejo agronómico

Las 31 accesiones de *Pachyrhizus erosus* fueron escogidas con base en la disponibilidad semilla (Cuadro 1) y sembradas bajo un diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones.

Cada parcela consistió de cuatro surcos de 5,4 m de largo y 0,75 m entre surcos. Dentro de cada surco la distancia fue de 0,3 m, colocando dos semillas por postura al momento de la siembra para luego ralea a una planta, 20 días después, para una densidad total de 44,444 plantas/ha. Las plantas de la parcela central se utilizaron para realizar las mediciones de los caracteres previo a la cosecha de raíces. Debido a la cosecha de los surcos centrales, los bordes se utilizaron para registrar los

caracteres de la vaina y semilla.

El ensayo en CATIE-Turrialba se sembró el 6 de Noviembre/91, en tanto que el de la EARTH-Guácimo fue el 21 de Enero/92, ambos ensayos fueron manejados sin irrigación y fertilización durante todo el ciclo del cultivo. La cantidad de precipitación mensual y temperatura media diaria ocurrida durante la evaluación se resume en los Cuadros 1A y 2A.

No se realizó eliminación de las inflorescencias en la planta ni aplicación alguna de químicos reguladores de la floración. La cosecha de raíces se realizó a los 140 días después de la siembra, en ambas localidades.

2.3. Caracteres y registro en ambas localidades

Para realizar el estudio de la variación genética en *Pachyrhizus erosus* se consideraron los siguientes caracteres:

- a. De la flor: Longitud de la flor, ancho del estandarte, número de días al inicio de la floración, longitud del segmento con botones florales, inflorescencias por rama, botones por inflorescencia.
- b. Del tallo : Longitud del tallo principal, longitud del entrenudo, diámetro del entrenudo, número de nudos del tallo principal, número de ramas por planta y la velocidad de crecimiento.
- c. De la hoja : longitud del foliolo principal, ancho del foliolo principal, longitud del peciolo y el número de hojas por planta.
- d. De la raíz : el peso de raíz/planta, diámetro, longitud,

porcentaje de materia seca y porcentaje de proteína cruda en base seca.

e. De la vaina : longitud, diámetro, número de semillas/vaina, número de vainas/planta y días a la madurez de la vaina.

Cada uno de los caracteres se registró sobre 10 plantas por parcela, seleccionadas al azar, para un total de 930 registros por localidad, que fueron utilizados para la estimación de los parámetros genéticos.

2.4. Procesamiento y análisis de datos

2.4.1. Variabilidad genética en *Pachyrhizus erosus*

Con el fin de obtener estimaciones de variabilidad genética en *Pachyrhizus erosus*, para los caracteres de importancia morfológica y económica, descritos anteriormente, se empleó el siguiente modelo para cada localidad :

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + G_j + (RG)_{ij} + E_{w_{ijk}}$$

Donde:

Y = Cualquiera de los caracteres ,

μ = Efecto de la media general,

R_i = Efecto de repetición (fijo), $i = 1...3$,

G_j = Efecto aleatorio del genotipo o accesión,

$(RG)_{ij}$ = Interacción entre repetición y genotipo, considerado como error ambiental entre parcelas de una misma accesión,

$E_{w_{ijk}}$ = Error aleatorio dentro de parcela, considerado como variación intraparcelar,

A partir de este modelo se obtuvieron los componentes de varianza correspondientes a G_j ($\sigma^2 G$), $RG(\sigma^2 RG)$ y E ($\sigma^2 w$) utilizando el cuadrado medio esperado para cada caracter. Posteriormente los componentes de varianza fueron utilizados para estimar el índice de herencia en sentido amplio (H^2), usando la siguiente fórmula :

$$H^2 = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 G + \sigma^2 R * G + \sigma^2 w = \sigma^2 F}$$

Todos los análisis fueron hechos empleando el paquete estadístico desarrollado por Harvey, versión PC-2 (1990).

2.4.2. Estimación de correlaciones entre caracteres

Para sustentar la posibilidad de predecir el rendimiento de raíz a partir de las correlaciones entre los caracteres del crecimiento vegetativo y el rendimiento de raíz, de acuerdo a Grum (1990), Sinha *et al* (1977b), se procedió a obtener los estimadores de las correlaciones fenotípicas (r_F), genéticas (r_G) y ambientales (r_E) entre los 13 caracteres que resumen el desarrollo vegetativo, floración y producción de raíz en la planta de jícama. Para ello se utilizó el análisis de varianza-covarianza obtenido a partir del modelo antes descrito y empleando el modelo mixto 6 del paquete Harvey (1990).

Las correlaciones antes mencionadas fueron estimadas de acuerdo a las fórmulas propuestas por Falconer (1989) :

$$r_{F_{1j}} = \frac{\text{Cov}(G_{1j}) + \text{Cov}(E_{1j})}{[\text{Var}(F_1) * \text{Var}(F_j)]^{1/2}}$$

$$r_{F_{1j}} = \frac{\text{Cov}(G_{1j}) + \text{Cov}(RG) + \text{Cov}(w)}{[\text{Var}(F_1) * \text{Var}(F_j)]^{1/2}}$$

$$r_{G_{1j}} = \frac{\text{Cov}(G_{1j})}{[\text{Var}(G_1) * \text{Var}(G_j)]^{1/2}}$$

Donde ;

$r_{F_{1j}}$ = Correlación fenotípica entre los caracteres i,j

$\text{Cov}(G_{1j})$ = Covarianza genética entre los caracteres i,j

$\text{Cov}(RG)$ = Covarianza entre parcelas

$\text{Cov}(w)$ = Covarianza dentro de parcelas

$\text{Var } F_1$ = Varianza fenotípica del caracter i .

La correlación ambiental (r_E) se estimó a partir de la siguiente ecuación:

$$r_{F_{1j}} = H_1 H_j r_{G_{1j}} + r_{E_{1j}} e_1 e_j \quad , \quad \text{para que:}$$

$$r_{E_{1j}} = [r_{F_{1j}} - H_1 H_j r_{G_{1j}}] / e_1 e_j$$

En las expresiones anteriores H_1 y H_j representan la raíz cuadrada del índice de herencia en sentido amplio para cada carácter involucrado en las asociaciones, mientras que:

$$e_1 = \sqrt{1-H^2_1} \quad \text{y} \quad e_j = \sqrt{1-H^2_j} \quad ,$$

cuantifican la raíz cuadrada de la influencia ambiental o no genética sobre cada característica.

2.4.3 Índice de selección

Con base en las distintas correlaciones estimadas entre los caracteres del crecimiento vegetativo y floración con el peso de la raíz, se identificaron aquellos de mayor índice de herencia y magnitud de correlación genética para utilizarse en la construcción de índices de selección.

Siendo el peso de raíz la característica de mayor importancia económica, la incorporación de registros sobre otras características en la función lineal de cada índice, pretendió hacer más eficiente la predicción del valor genético (G) de las accesiones de *Pachyrhizus erosus*, para la característica de importancia económica.

El índice más sencillo incluyó únicamente el peso de la raíz/planta. En función de éste, los índices siguientes que incorporaron nuevos caracteres, se compararon para su eficiencia relativa. Para la eficiencia relativa fue necesario calcular la respuesta esperada con el uso de cada índice y expresarla en función del índice más sencillo.

Se consideró que el valor genético (G) a predecir es una función :

$$G = a_1 G_1$$

a_1 = Valor económico relativo del peso de la raíz/planta, considerado como valor unitario (1)

G_1 = Valor genético para el peso de la raíz/planta

Para desarrollar el índice se empleó la siguiente función lineal :

$$I = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Las ecuaciones normales para determinar β 's y que maximizan la correlación del índice con el valor genético, se plantearon según el procedimiento descrito por Van Vleck (1974), cuya forma general es:

$$\begin{array}{rcccccl} \beta_1 \sigma^2 x_1 & + & \beta_2 \sigma x_1 x_2 & + & \dots & + & \beta_n \sigma x_1 x_n & = & \sigma x_1 G \\ \beta_1 \sigma x_2 x_1 & + & \beta_2 \sigma^2 x_2 & + & \dots & + & \beta_n \sigma x_2 x_n & = & \sigma x_2 G \\ \cdot & & \cdot & & & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & & & \cdot & & \cdot \\ \beta_1 \sigma x_n x_1 & + & \beta_2 \sigma x_n x_2 & + & \dots & + & \beta_n \sigma^2 x_n & = & \sigma x_n G \end{array}$$

Los miembros de la mano derecha ($\sigma x_i G$, $i = 1, \dots, n$) corresponden a la covarianza entre cada característica x_i y $a_1 G_1$. Asumiendo que la covarianza entre los valores genéticos y valores ambientales es cero, se tiene:

$$\begin{aligned} E(x_i G) &= \sigma x_i G = \text{Cov}(x_i, a_1 G_1) \\ &= a_1 \sigma G_i G_1 \\ &= a_1 * r_{G_i} * \sqrt{H^2_i} * \sqrt{H^2_1} * \sigma x_i \sigma x_1 \end{aligned}$$

$$\text{Si } G_i = G_1, \text{ entonces } \sigma G_i G_1 = \sigma^2 G_1 = H^2_i \sigma^2 x_1$$

Donde:

$r_{G_{11}}$ = Correlación genética entre características $i, 1$

$\sqrt{H^2_1}$ = Raíz cuadrada del índice de herencia en sentido amplio para la característica i

Transformando las ecuaciones normales en matrices y aplicando estandarización a los componentes de varianza y covarianza, los elementos para encontrar β 's quedan expresados en función de correlaciones fenotípicas, genéticas y del índice de herencia en sentido amplio:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{1,2} & r_{1,3} & \dots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & 1 & r_{2,3} & \dots & r_{2,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & r_{n,3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 H^2_1 \\ a_1 (rg)_{2,1} \sqrt{H^2_2} \sqrt{H^2_1} \\ \vdots \\ \vdots \\ a_1 (rg)_{n,1} \sqrt{H^2_n} \sqrt{H^2_1} \end{bmatrix}$$

$\underset{\sim}{F}$
 $\underset{\sim}{\beta}$
 $\underset{\sim}{G}$

La solución fue obtenida mediante:

$$\begin{aligned}
 \underset{\sim}{F} \underset{\sim}{\beta} &= \underset{\sim}{G} \\
 \underset{\sim}{F}^{-1} \underset{\sim}{F} \underset{\sim}{\beta} &= \underset{\sim}{F}^{-1} \underset{\sim}{G} \\
 \underset{\sim}{\beta} &= \underset{\sim}{F}^{-1} \underset{\sim}{G}
 \end{aligned}$$

La respuesta esperada de la selección para el peso de la raíz se calculó según Van Vleck (1974) como:

$$\Delta G_1 = \sigma_{x1} G^{-1}$$

$$\Delta G^{-1} = [\text{Cov} (G^{-1}, I^{-1}) / \sigma I^{-1}] * D$$

$$= [(\beta^{-1} H^2_1 + \dots + \beta^{-1} (rg)_{1,n} H_1 H_n) / \sigma I^{-1}] * D$$

$$\sigma^2 I = E [(\sum \beta_i x_i)^2]$$

ΔG^{-1} = Respuesta esperada en unidades estandar

ΔG_1 = Respuesta esperada en unidades del peso de raíz

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

1. Caracterización sistemática

1.1 Agrupamiento de las accesiones

La combinación de coeficientes de distancia para los caracteres cualitativos y cuantitativos, permitió obtener la matriz de disimilitud ponderada, que resume las relaciones entre la totalidad de pares de accesiones. Sobre esta matriz de disimilitud actuó el algoritmo multivariado del análisis de agrupamiento jerárquico de Ward, 1963.

Considerando los estadísticos de Pseudo F y Pseudo t^2 como indicadores del número óptimo de grupos mutuamente excluyentes, se seleccionaron tres grupos cuya distribución de accesiones se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Distribución de las accesiones por grupos, según el análisis de agrupamiento jerárquico de Ward.

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
EC-550	EC-234 CAFE	EC-509
EC-201	EC-523	EC-117
EC-541	EC-532	EC-534
EC-557	EC-032	EC-535
EC-539	EC-556	EW-228
EC-538	EC-040	EW-227
EC-540	EC-214 ROJO	EC-542
EC-536	EC-234 ROJO	EC-120-B
EC-502	EC-510	EW-522
EC-531	EC-560	EW-223
EC-214 CAFE	EC-511	EC-006
EC-537	EC-120A-ROJO	EC-104
EC-503	EC-041	
	EC-533	
	EC-120A-CAFE	

Con base en el fundamento del método de Ward (1963), los tres grupos resultantes son mutuamente excluyentes y permiten una mejor comprensión de las relaciones en la colección de *Pachyrhizus erosus*.

1.2 Valor discriminante de los caracteres para separar grupos

1.2.1 Caracteres cualitativos

La combinación de alta significancia en la prueba X^2 y valores altos para los coeficientes de asociación, determinaron 13 caracteres (Cuadro 5) que pueden utilizarse para establecer diferencias entre grupos de accesiones de *Pachyrhizus erosus* en forma preliminar.

Cuadro 5. Caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre grupos de accesiones de Jícama. CATIE 1992.

CARACTER	X^2	COEFICIENTE (P)	CRAMER (V)
Hábito de floración	35,5 **	0,94	0,67
Botones florales por inflorescencia	32,1 **	0,89	0,63
Plantas fértiles (%)	32,2 **	0,89	0,63
raíces medianas (%)	28,6 **	0,85	0,60
Dureza pulpa de la raíz	26,0 **	0,81	0,57
Raíces pequeñas (%)	25,1 **	0,79	0,56
Color del estandarte de la flor	24,1 **	0,77	0,55
Materia seca de las raíces (%)	21,3 **	0,73	0,52
Hábito de crecimiento	20,3 **	0,71	0,50
Período de floración por parcela	17,9 **	0,67	0,47
Tamaño de la semilla	18,0 **	0,67	0,48
Forma de la raíz	17,2 *	0,66	0,46
Color de la semilla	15,8 *	0,60	0,43

* Significativo al 5 % de probabilidad

** Significativo al 1 % de probabilidad

Aunque los caracteres relacionados con la producción de raíces son muy variables por depender de las condiciones ambientales de manejo, distancia de siembra y tiempo de cosecha; esto debe ser considerado válido para la localidad y aquellos aspectos de manejo indicados en el presente estudio.

1.2.2 Caracteres cuantitativos

Según la definición dada por Engels (1983a), un carácter para el cual los tres grupos tengan valores marcadamente distintos, tendrá un valor "D" máximo de 1, por cuanto las tres comparaciones posibles serán todas significativas. El detalle para estos caracteres de mayor valor discriminante se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Caracteres cuantitativos útiles para discriminar grupos de accesiones de Jicama. CATIE, 1992.

CARACTER	VALOR "D"	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3	
		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
Período floración/planta (días)	1	13,0	1,95	22,0	3,30	36,0	3,96
Número máximo botones florales/inflorescencia	1	29,0	1,42	45,0	3,15	55,0	3,85
Número ramas/planta	1	2,5	0,37	3,3	0,70	4,4	0,65
Número ramas con inflorescencia	1	1,5	0,30	2,2	0,50	4,0	0,75
Número inflorescencias/rama	1	1,9	0,77	2,6	0,78	3,5	0,80
Número hojas/planta	1	11,8	2,94	21,2	4,80	30,0	6,90

\bar{X} Promedio del carácter para el grupo

SD Desviación estandar para el carácter

Es importante observar que los caracteres de la flor tales como el período de la floración por planta, el número máximo de botones florales, el número de ramas con inflorescencia y el número de inflorescencias por rama, así como el número de ramas por planta fueron los que permitieron diferenciar los tres grupos. Esto implica que los grupos muestran la mayor disimilitud para estos caracteres, tal como se refleja en el valor promedio. Sin embargo, dentro de cada grupo las accesiones mantienen una relación estrecha debido a los reducidos valores de la desviación estandar. Esta clasificación relaciona al grupo 1 con accesiones de plantas pequeñas y de escasa floración; al grupo 2, con plantas de porte intermedio y floración moderada, en tanto que el grupo 3, se relaciona principalmente con plantas más exhuberantes de mayor cantidad de flores y por ende, un período más prolongado en su floración. Indudablemente estos caracteres guardan una marcada asociación entre si, de manera que cualquiera de ellos puede utilizarse para una separación preliminar de accesiones de jícama.

1.3 Valor discriminante de los caracteres para separar accesiones dentro de grupos

1.3.1 Caracteres cualitativos

El valor "D" para cada carácter cualitativo se presenta en el Cuadro 7. Considerando los caracteres en forma independiente y según el orden descendente de los mismos, se infiere que tanto la producción de raíces tuberosas medianas (500-1000 g), la pubescencia del tallo y el hábito de floración son los que mejor podrían establecer las diferencias entre el conjunto de accesiones evaluadas. Los primeros caracteres identificados anteriormente con poder

Cuadro 7. Caracteres cualitativos en orden descendente, según el valor discriminante "D", para separar accesiones de jícama (*Pachyrhizus erosus*). CATIE, 1992.

CARACTERES	ESTADOS	VALOR "D"
Porcentaje de raíces medianas (500-1000g)	5	0,77
Pubescencia del tallo	5	0,77
Hábito de floración	5	0,77
Color del estandarte de la flor	5	0,75
Porcentaje de raíces pequeñas (<500g)	5	0,75
Porcentaje de plantas fértiles	4	0,75
Color de las alas de la flor	5	0,74
No. de botones florales por inflorescencia	4	0,73
Defectos de la superficie de la raíz	5	0,71
% de materia seca de raíces	4	0,71
Dureza de la pulpa de raíz	4	0,69
Color de las quillas de la flor	4	0,68
Forma de la raíz tuberosa	9	0,67
Pubescencia de la base de los folíolos	4	0,66
Hábito de crecimiento	4	0,66
Longitud del entrenudo	4	0,66
Velocidad de crecimiento del tallo principal	5	0,64
Período de floración por parcela	4	0,64
Tamaño de la semilla	3	0,64
Pubescencia de los sépalos	5	0,63
Días a la madurez fisiológica de la vaina	4	0,63
Color de la semilla	4	0,63
Forma de la semilla	3	0,63
Brillo de la semilla	3	0,61
Tipo de lóbulos en el foliolo central de la hoja	3	0,60
Color de la vaina en su madurez fisiológica	4	0,58
Forma del lóbulo central del foliolo principal	3	0,54
Intensidad de la constricción de la vaina	3	0,54
Color de la hoja madura	3	0,53
Color de los sépalos de la flor	4	0,52
Porcentaje de raíces grandes (>1000g)	3	0,51
Color del pedúnculo igual al de los sépalos	2	0,51
Decoloración de la flor	2	0,51
Color de la vaina inmadura	3	0,48
Curvatura de la vaina	2	0,45
Facilidad de cosecha de raíces	3	0,43
Color del peridermis de la raíz	2	0,43
Color del tallo	3	0,41
Dehiscencia de la vaina madura	2	0,41
Color de las espículas de hojas maduras	3	0,38
Patrón de crecimiento	2	0,22
Pubescencia de la vaina inmadura	2	0,10

discriminante entre grupos (Cuadro 5), guardan un valor similar para discriminar entre pares de accesiones, aún cuando se han incorporado otros de mayor valor como la pubescencia del tallo, defectos de la superficie de la raíz, el color de las alas de la flor y la forma de la raíz. A pesar de ésto, el procedimiento descrito por Engels (1983b), indica que debe identificarse aquel con el mayor valor "D" y recalcular los "D" restantes de tal forma que cada carácter identificado sea independiente. Por ello, la producción de raíces medianas puede considerarse como el carácter de mayor valor discriminante ($D= 0,77$) para el conjunto total de 40 accesiones. Los valores "D" para el resto de caracteres fueron recalculados a un valor "D'" según la fórmula: $D' = D(1-r^2)$.

Con el nuevo orden de valores D' se identificó al segundo carácter con mayor poder discriminante, siendo el color del estandarte de la flor con $D' = 0,74$. Nuevamente se recalcularon los D' para el resto de caracteres considerando ahora la correlación de éstos con el color del estandarte de la flor. Este proceso se repitió 10 veces para llegar a obtener el mismo número de caracteres cualitativos de mayor poder discriminante (Cuadro 8).

Cuadro 8. Caracteres cualitativos de Jícama (*Pachyrhizus erosus*) de mayor valor discriminante recalculado (D') para separar entre accesiones.

CARACTER	ESTADOS	VALOR D'
Raíces medianas (%)	5	0,77
Color del estandarte de la flor	5	0,74
Forma de la raíz	9	0,66
Pubescencia del tallo	5	0,61
Defectos de la superficie de la raíz	5	0,58
Color de vaina en su madurez fisiológica	4	0,55
Velocidad de crecimiento	5	0,54
Forma del lóbulo central del foliolo	6	0,49
Pubescencia de los sépalos	5	0,47
Botones florales/inflorescencia	4	0,41

$$D' = D * (1 - r^2)$$

El porcentaje de raíces medianas, el color del estandarte, la forma de la raíz y el número de botones florales, nuevamente presentan un alto valor para distinguir pares de accesiones de *Pachyrhizus erosus*.

El número de estados de un carácter cualitativo juega un papel muy importante en su poder discriminante debido a que a mayor número de estados, mayor será su poder discriminante. Este efecto fue observado por López (1991) en la Caracterización sistemática de 106 clones de *Ipomoea batata*; Engels (1983b) en la caracterización sistemática de 32 clones de cacao, así como Estabrook y Rogers (1966). Este comportamiento se observa también para este estudio aún cuando pareciera modificarse para la forma de la raíz y la del lóbulo central del foliolo principal, que poseen los mayores estados con 9 y 6, respectivamente. Sin embargo, la expresión fenotípica de las accesiones de la colección no cubren la variabilidad descrita por la variable y algunas clases no tienen registros, reduciéndose así su valor discriminante relativo (Cuadro 7) y poniendo de manifiesto

la dependencia del valor "D" de la variabilidad de la colección. El registro de los estados que presentan las accesiones para estos caracteres se detallan en los Cuadros 4A, 5A y 6A.

A pesar de la dependencia que muestra la producción de raíces medianas, respecto a las condiciones ambientales y el período a cosecha, es un factor relevante para la futura comercialización de la jícama, ya que permitirá distinguir las accesiones cuya mayor producción sea entre 500-1000 g.

1.3.2 Caracteres cuantitativos

Los Cuadros 9, 10 y 11 describen el promedio, desviación estandar, el valor "D" y "Dw" para cada carácter utilizado. La comparación de los grupos de caracteres de la flor, tallo, hoja, raíz, vaina y semilla permite establecer que el promedio de "D" dentro de grupos tiene una tendencia a incrementar del grupo 1 al grupo 3; con excepción de los caracteres de la vaina. El grupo 1 al tener los valores menores de "D" indica que sus accesiones tiene una relación más estrecha de parentezco que las hace más homogéneas para los caracteres evaluados; en tanto que el grupo 2 y 3 tienen accesiones con mayor heterogeneidad. La mayor variabilidad se encuentra en los caracteres relacionados con rendimiento de raíz y semilla, no así para los caracteres de la flor y la hoja.

El promedio de los valores "D" y la ponderación por el número de accesiones en cada grupo originó el valor "Dw" cuyo orden descendente se observa en el Cuadro 12. Con base en este orden, el número máximo de vainas por planta se consideró como el primer carácter con mayor poder discriminante ($Dw = 0,84$). Los "Dw" restantes se

Cuadro 9. Promedio, desviación estándar, valor discriminante "D" y "Dm" para los caracteres cuantitativos de la flor y el tallo, en el agrupamiento de accesiones de jicama (Pachyrhizus erosus). CATIE, 1992.

CARACTER	Grupo 1 (13)		Grupo 2 (15)		Grupo 3 (12)*					
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD				
FLOR										
Días al inicio de la floración	88,0	2,64	0,48	89,0	2,65	0,62	80,0	2,67	0,50	0,54
Días al 50% de floración	102,0	3,06	0,06	102,0	3,95	0,29	94,0	2,67	0,85	0,38
Periodo de floración/planta	13,0	1,95	0,17	22,0	3,30	0,50	36,0	3,96	0,69	0,45
Número máximo de vainas/planta	29,0	1,42	0,83	45,0	3,15	0,79	55,0	3,85	0,64	0,76
Longitud de la flor (mm)	24,2	0,94	0,07	24,4	0,88	0,33	24,7	0,74	0,02	0,15
Ancho del estandarte (mm)	19,4	0,71	0,15	19,4	0,68	0,08	19,7	0,69	0,11	0,11
Número de ramas/planta	2,5	0,37	0,00	3,3	0,70	0,17	4,4	0,65	0,22	0,13
Número de ramas con inflorescencia	1,5	0,30	0,08	2,2	0,50	0,27	3,9	0,75	0,47	0,27
Inflorescencia/rama	1,9	0,77	0,18	2,6	0,78	0,22	3,5	0,80	0,20	0,20
Longitud del segmento con botones (cm)	7,7	1,85	0,27	12,7	2,93	0,43	12,3	2,45	0,20	0,31
Longitud del raquis de inflorescencia (cm)	11,7	2,70	0,09	13,9	2,75	0,34	13,9	2,78	0,20	0,22
Relación largo del segmento con botones Respecto al largo total de inflorescencia	0,4	0,05	0,18	0,5	0,05	0,08	0,5	0,07	0,18	0,14
\bar{x}	1,40	0,21		1,86	0,34		1,84	0,33		0,31
TALLO										
Diámetro del entrenudo (mm)	4,0	1,00	0,06	4,2	0,67	0,16	3,9	0,55	0,30	0,17
Longitud del tallo principal	30,9	7,74	0,48	50,6	11,14	0,56	65,3	15,00	0,58	0,54
Número de nudos del tallo principal	5,1	1,02	0,05	7,4	1,75	0,22	8,4	1,76	0,82	0,35
\bar{x}	3,25	0,19		5,77	0,56		5,77	0,56		0,35

* Número de accesiones por grupo

Cuadro 10. Promedio, desviación estándar, valor discriminante "D" y "Dm" para los caracteres cuantitativos de la hoja y raíz, en el agrupamiento de accesiones de jicama (Pachyrhizus erosus). CAIIE, 1992.

CARACTER	Grupo 1 (13)			Grupo 2 (15)			Grupo 3 (12)*			
	\bar{x}	SD	"D"	\bar{x}	SD	"D"	\bar{x}	SD	"D"	
HOJA										
Largo del foliolo (cm)	9,1	1,04	0,45	9,2	1,04	0,41	8,9	0,88	0,33	0,40
Ancho del foliolo (cm)	12,0	1,46	0,39	12,1	1,33	0,44	11,1	1,22	0,36	0,40
Relación ancho/largo del foliolo	1,3	0,11	0,15	1,3	0,11	0,34	1,3	0,10	0,45	0,31
Longitud del peciolo (cm)	6,7	1,60	0,32	6,2	1,40	0,09	6,5	1,29	0,09	0,17
Número de hojas/planta	11,8	2,94	0,18	21,2	4,80	0,40	30,0	6,90	0,55	0,37
\bar{x}		1,43	0,29		1,74	0,33		2,08	0,35	0,33
RAIZ TUBEROSA										
Diámetro de la raíz (cm)	12,2	1,63	0,21	12,3	1,84	0,04	9,1	1,82	0,53	0,24
Longitud de la raíz (cm)	7,9	1,26	0,38	8,4	1,25	0,59	10,9	2,02	0,42	0,47
Diámetro/largo de la raíz	1,6	0,16	0,11	1,5	0,18	0,40	1,0	0,21	0,33	0,28
Grosor de la corteza (mm)	0,6	0,07	0,05	0,6	0,08	0,07	0,7	0,11	0,05	0,06
Grados brix (%)	5,7	0,56	0,00	6,1	0,61	0,23	6,2	0,80	0,35	0,19
Peso de la raíz (g)	631,0	157,50	0,42	644,0	193,00	0,28	346,0	135,00	0,47	0,38
Rend. materia seca (Kg/ha)	2212,0	287,50	0,44	2776,0	361,00	0,77	1521,0	228,00	0,70	0,64
Rendimiento de raíces (Kg/ha)	28552,0	31140,00	0,48	31484,0	3135,00	0,63	14619,0	2339,00	0,75	0,62
\bar{x}		3948,50	0,26		461,60	0,37		338,30	0,45	0,36

* Número de accesiones por grupo

Cuadro 11. Promedio, desviación estándar, valor discriminante "D" y "Du" para los caracteres cuantitativos de vaina y semilla, en el agrupamiento de accesiones de jicame (*Pachyrhizus erosus*). CAFE, 1992.

CARACTER	Grupo 1 (13)			Grupo 2 (15)			Grupo 3 (12)*			
	\bar{x}	SD	"D"	\bar{x}	SD	"D"	\bar{x}	SD	"D"	"Du"
VAINA										
Longitud de vaina (mm)	126,3	12,31	0,20	113,3	12,46	0,10	113,4	9,07	0,18	0,16
Diámetro de vaina (mm)	14,5	1,02	0,30	14,0	1,12	0,14	13,9	0,97	0,00	0,15
Relación diámetro/longitud de vaina	0,1	0,01	0,17	0,1	0,02	0,05	0,1	0,01	0,25	0,15
Número máximo de vainas/planta	25,0	0,63	0,83	32,0	1,24	0,83	47,0	1,10	0,85	0,84
Número de lóculos/vaina	8,4	1,25	0,15	8,2	1,14	0,16	8,8	0,97	0,20	0,17
\bar{x}		3,0	0,33		3,20	0,25		2,42	0,29	0,29
SEMILLA										
Longitud de la semilla (mm)	9,4	0,74	0,30	8,7	0,69	0,33	8,4	0,67	0,49	0,37
Ancho de la semilla (mm)	8,8	0,60	0,14	8,3	0,58	0,32	8,2	0,57	0,50	0,32
Relación ancho/longitud de la semilla	0,9	0,08	0,30	1,0	0,07	0,07	1,0	0,08	0,18	0,18
Grosor de la semilla (mm)	4,3	0,38	0,06	4,4	0,26	0,29	4,2	0,42	0,24	0,20
Peso de 100 semillas a 14% humedad	24,1	1,44	0,17	21,2	2,54	0,37	19,6	1,14	0,62	0,38
Número de semillas/vaina	8,0	1,19	0,05	7,9	1,35	0,18	8,6	1,03	0,27	0,16
Rendimiento de semilla/planta fértil	16,9	4,40	0,27	22,8	5,68	0,20	40,1	9,21	0,67	0,36
Rendimiento de semilla (Kg/ha)	511,7	179,00	0,48	832,9	266,00	0,30	1721,5	430,00	0,53	0,43
Porcentaje de proteína cruda en base seca	5,4	0,43	0,47	6,6	0,78	0,22	5,6	0,62	0,25	0,31
\bar{x}		20,9	0,24		30,88	0,25		49,30	0,41	0,30

* Número de accesiones por grupo

x Promedio del carácter para cada grupo de accesiones

"D" Número de diferencias significativas al 5%, entre accesiones del grupo, respecto al total de comparaciones posibles en la prueba Duncan

Du" Promedio ponderado del número de diferencias significativas calculado a través de los grupos

Cuadro 12. Caracteres cuantitativos ordenados por su valor discriminante "Dw" para la separación de accesiones de *Pachyrhizus erosus*. CATIE, 1992.

CARACTER CUANTITATIVO	"Dw"
No. máximo de vainas/planta	0,84
No. máximo de botones florales/inflorescencia	0,76
Rendimiento de materia seca de raíces (Kg/ha)	0,64
Rendimiento en fresco de raíces (Kg/ha)	0,62
Longitud del tallo principal de la planta (cm)	0,54
Número de días al inicio de la floración	0,54
Longitud de la raíz (cm)	0,47
Período de floración/planta	0,45
Rendimiento de semilla (Kg/ha)	0,43
Ancho del foliolo principal de la hoja (cm)	0,40
Longitud del foliolo principal de la hoja (cm)	0,40
Días al 50 % de floración/parcela	0,38
Peso de la raíz/planta (g)	0,38
Peso de 100 semillas con 14 % de humedad (g)	0,38
Número de hojas/planta	0,37
Longitud de la semilla (mm)	0,37
Rendimiento de semilla/planta (g)	0,36
Número de nudos del tallo principal	0,35
Ancho de la semilla (mm)	0,32
Relación ancho/largo del foliolo principal	0,31
% de proteína cruda en base seca	0,31
Longitud del segmento con botones florales (cm)	0,31
Relación diámetro/largo de la raíz	0,28
Número de ramas con inflorescencia	0,27
Diámetro de la raíz (cm)	0,24
Longitud del raquis de la inflorescencia (cm)	0,22
Número de inflorescencias/rama	0,20
Grosor de la semilla (mm)	0,20
% de grados brix de la raíz	0,19
Relación ancho/longitud de semilla	0,18
Diámetro del entrenudo (cm)	0,17
Número de lóculos/vaina	0,17
Longitud del peciolo de la hoja (cm)	0,17
Número de semillas/vaina	0,16
Longitud de la vaina (mm)	0,16
Longitud de la flor (mm)	0,15
Ancho de la vaina (mm)	0,15
Relación diámetro/longitud de la vaina	0,15
Relación longitud del segmento con botones/longitud total de la inflorescencia	0,14
Número de ramas/planta	0,13
Ancho del estandarte de la flor	0,11
Grosor de la corteza	0,06

recalcularon al sustraérseles la información que comparten con el número máximo de vainas. El número máximo de botones florales por inflorescencia se eligió como el segundo carácter con mayor poder discriminante ($D'w = 0,59$), debiendo recalcular nuevamente los valores " $D'w$ " restantes según el coeficiente de correlación. Este proceso se repitió para el resto de los caracteres y así obtener los resultados del Cuadro 13.

Con excepción del número máximo de botones florales por inflorescencia, los 8 caracteres restantes se consideran eficaces para distinguir solamente entre pares de accesiones de *Pachyrhizus erosus*, no así entre los grupos de accesiones formados. Esto confirma lo descrito por Engels (1983a), respecto a que los caracteres con alto poder discriminante entre grupos, no necesariamente lo son para discriminar entre accesiones o clones.

Además, siendo el número máximo de vainas un carácter que se registra al final del ciclo, para una colección es quizá más conveniente el segundo (número máximo de botones por inflorescencia) por cuanto se registra antes de la cosecha de tubérculos y tiene alto poder discriminante. Lo mismo puede decirse para los caracteres del rendimiento de materia seca, porcentaje de proteína cruda y la longitud de la semilla, que requieren procedimientos más detallados de laboratorio. No obstante esto, ellos reflejan las relaciones de disimilitud para determinar en las colecciones aquellos materiales duplicados con números diferentes de ingreso.

Cuadro 13. Caracteres cuantitativos de *Pachyrhizus erosus* de mayor valor discriminante recalculado ($D'w$), para separar accesiones. CATIE, 1992.

CARACTER	$D'w$
Número máximo de vainas por planta	0,84
Número máximo de botones florales por inflorescencia	0,59
Rendimiento de materia seca de la raíz	0,48
Ancho del foliolo principal de la hoja	0,39
Longitud de la raíz	0,37
Número de días al inicio de la floración	0,33
% de proteína cruda en base seca	0,29
Longitud de la semilla (mm)	0,21
Ancho/largo del foliolo principal de la hoja	0,19

El valor promedio para los caracteres de mayor valor discriminante entre accesiones se detallan en los Cuadros 7A, 8A y 9A.

1.4 Clasificación de los grupos

La relación entre accesiones de cada grupo se fundamenta en el parecido taxonómico para los caracteres utilizados; sin embargo, cada carácter tiene varios estados que expresan la variabilidad de la colección. La relación de los agrupamientos con los estados de los caracteres de mayor poder discriminante permite comprender con facilidad la naturaleza de los agrupamientos.

1.4.1 Hábito de floración

Este carácter establece diferencias notables entre los grupos de accesiones, identificando en el grupo 1 aquellas accesiones de "muy escasa" floración (10 % del total), así como un 38 % de las de "escasa" floración y un 31 % de hábito "moderado". El grupo 2 lo constituyen principalmente las accesiones de hábito "escaso" y "moderado" con 40 y 53 %, respectivamente. Por su parte, el grupo 3 contiene accesiones más prolíficas en floración, desde un 17 % de hábito moderado, 50 % de hábito profuso y 4 accesiones (33 %) de la colección que presentan un hábito muy profuso. La Figura 1, en general presenta a los grupos 1 y 2 muy similares entre sí, con accesiones de escasa a moderada floración.

1.4.2 Número de botones florales por inflorescencia

Los agrupamientos tienen un comportamiento similar al del hábito de la floración y por ello adquiere un valor discriminante alto. La Figura 2 hace evidente que el grupo 1 estuvo conformado con un 85 % (11 accesiones) de aquellas con "muy escaso" número de botones florales, siendo el grupo más homogéneo. El 60 % del grupo 2 (9 accesiones) registró un promedio "escaso" de botones florales variando entre 21 y 30 por inflorescencia. El grupo 3 fue el extremo del 1, con un 50 % (6 accesiones) con promedio de tipo "moderado"; así como un 25 % (3 accesiones) que sobrepasan el promedio de 40 botones florales por cada inflorescencia.

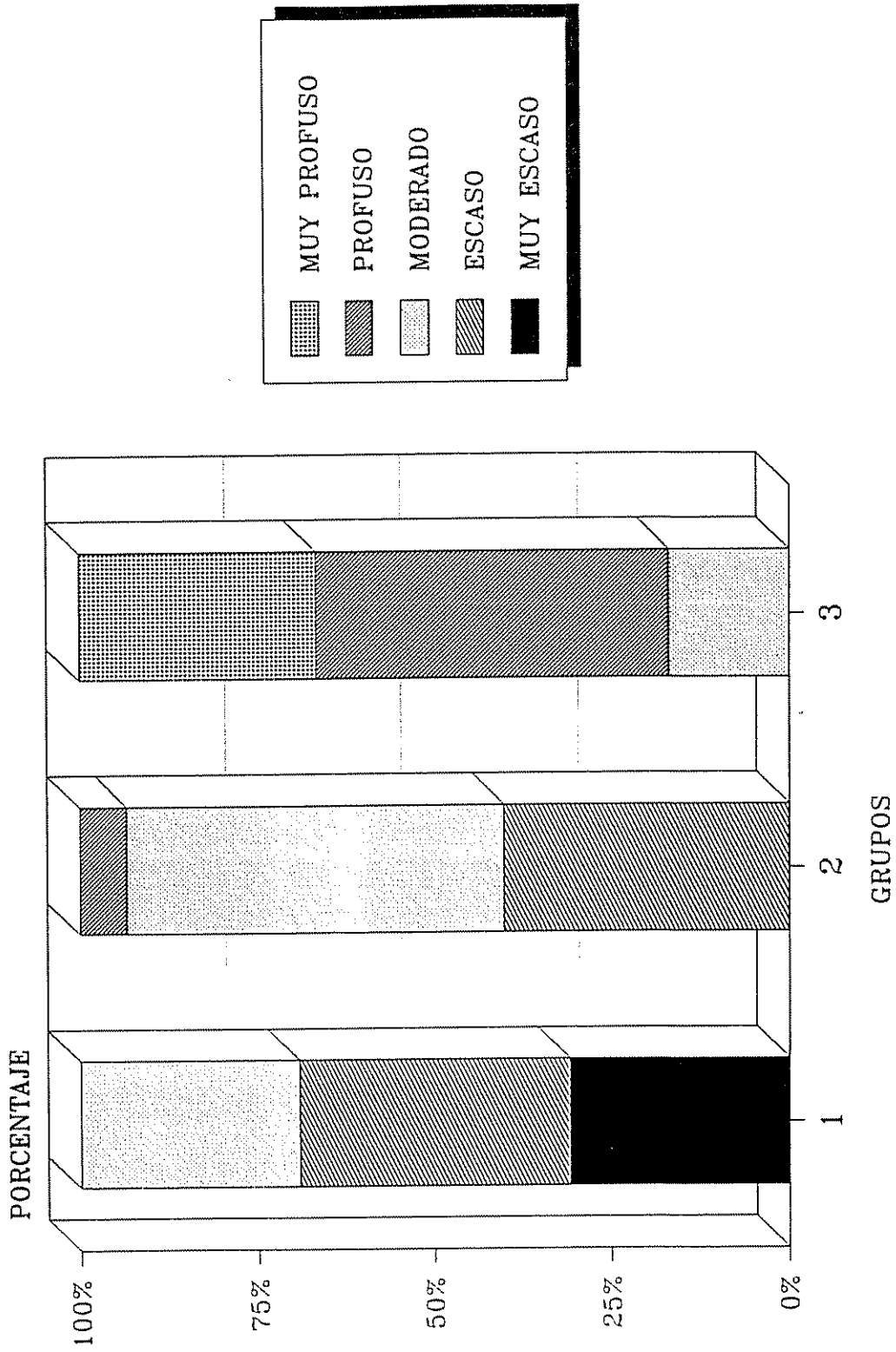


Figura 1. Hábito de floración por grupos.

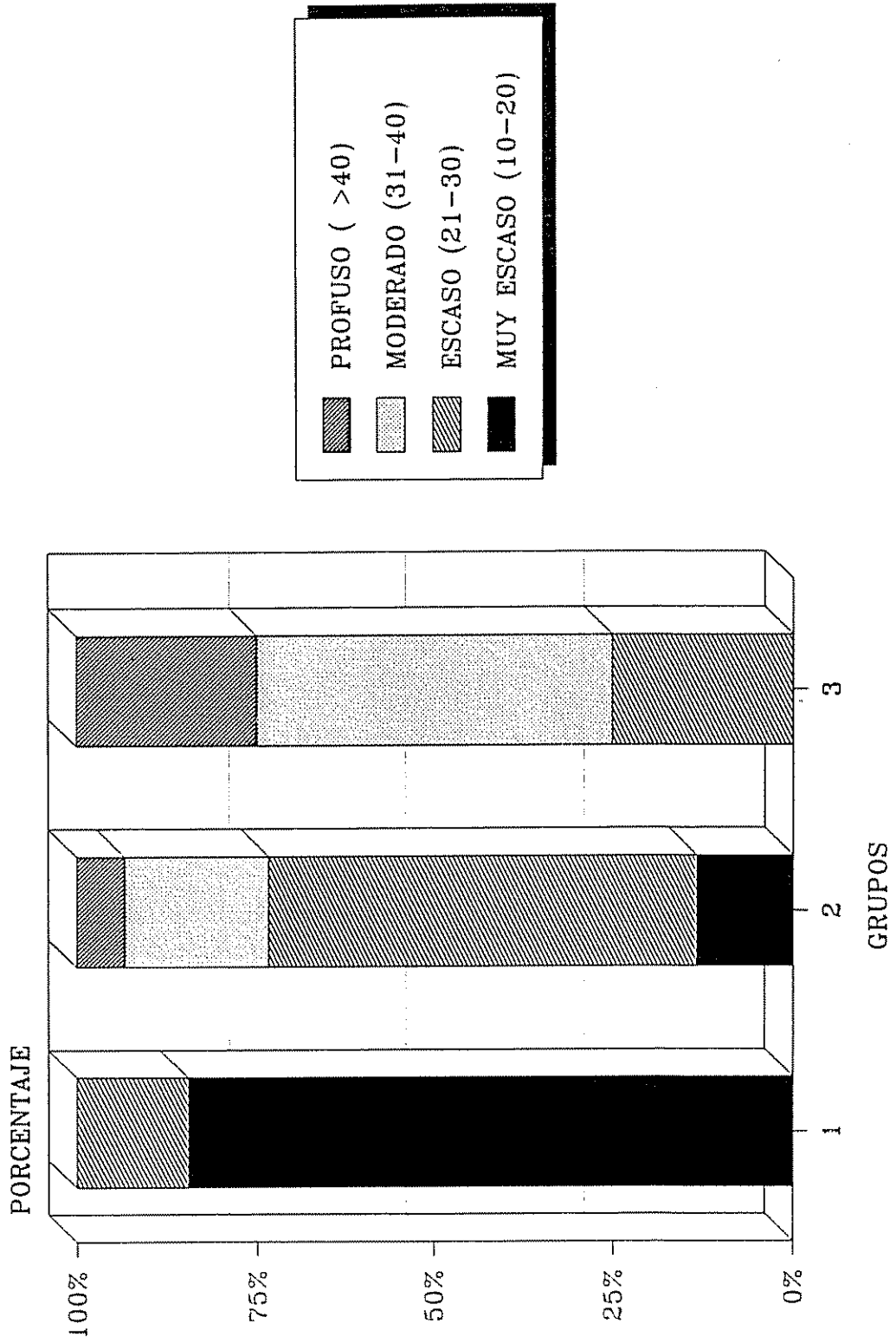


Figura 2. Número de botones florales por inflorescencia

1.4.3 Porcentaje de plantas fértiles

Debido a que la jícama necesita la semilla sexual para la siembra, este carácter es de importancia para anticipar posibles problemas con la producción comercial de semilla.

El grupo 1 fue el más diverso, a pesar de que el 54 % de sus accesiones mostró un porcentaje promedio "bajo" de plantas que producen vainas al final de su ciclo. Los grupos 2 y 3 fueron más homogéneos dentro de sus accesiones (Figura 3), el primero por agrupar accesiones de porcentaje "intermedio" y "alto", en tanto que el grupo 3 contiene un 67 % (8 accesiones) con un porcentaje "muy alto" de plantas fértiles.

1.4.4 Porcentaje de raíces tuberosas medianas

Este carácter separa los agrupamientos según la producción de raíces entre 500 a 1000 g, de peso. En el grupo 1, el 62 % de sus accesiones mostraron producciones con más del 75 % de este tamaño de raíz y, otras 3 accesiones (23 %) se clasificaron como de porcentaje "intermedio" donde más del 50 % de la producción fue de raíces medianas. Según la Figura 4, el grupo 2 contiene accesiones de tendencia similar al grupo 1, con 46% y 27% de tipo intermedio y alto, respectivamente. El grupo 3 fue el más variable en categorías, ya que 67 % de sus accesiones (8 en total) se clasificaron entre "ausente" y de "muy bajo" porcentaje de raíces medianas.

1.4.5 Dureza de la pulpa de la raíz

La dureza de la pulpa establece grupos muy particulares en donde el primero contiene 54 % (7 accesiones) de pulpa

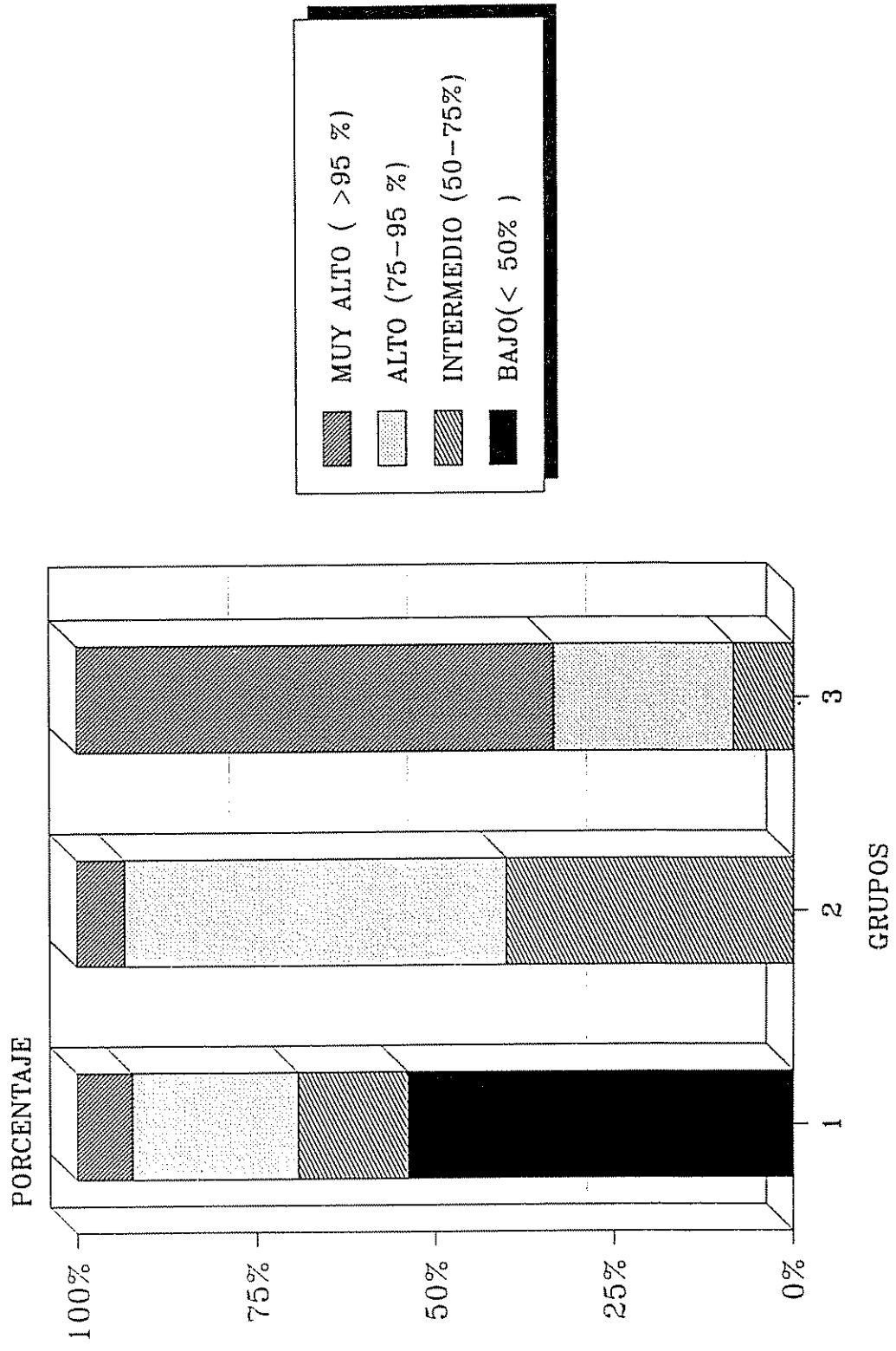


Figura 3. Porcentaje de plantas fértiles (con vainas)

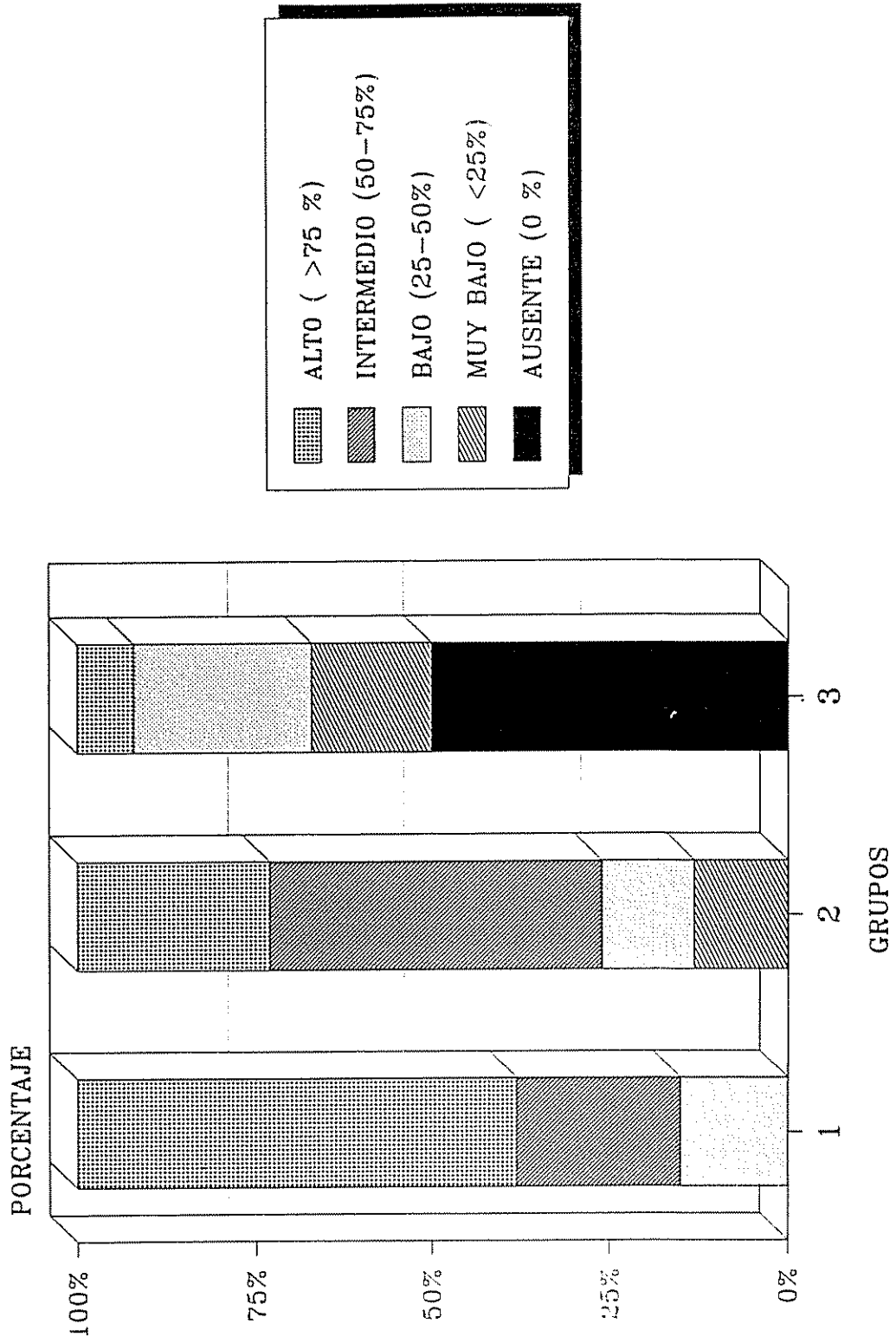


Figura 4. Porcentaje de raíces medianas (500-1000 g)

muy suave y el 46 % con pulpa suave (Figura 5). El grupo 2 tuvo el 60 % con pulpa suave y un 33 % de pulpa dura, es decir, que representa un escala intermedia entre el grupo 1 y 3. El grupo 3 lo conforman en su mayor parte (50 %) accesiones de pulpa dura y muy dura (25 %). En general, un 65 % (26 accesiones) de las accesiones evaluadas mostraron un tipo de pulpa deseable para el consumo directo entre "suave" y "muy suave", agrupadas en los grupos 1 y 2.

1.4.6 Porcentaje de raíces pequeñas

Este carácter clasifica la producción de las accesiones según el peso individual de la raíz correspondiente a menos de 500 g. Bajo las condiciones generales de manejo y un período de 140 días a la cosecha, es un carácter que permite separar bien los 3 grupos. Entre las clases "ausente" y "muy bajo" se ubica el 62 % de las accesiones del grupo 1, es decir, aquellas que no produjeron raíces pequeñas, lo que indica que su mayor producción se ubica entre raíces medianas y grandes. El grupo 2 es bastante similar al 1, sin embargo 6 accesiones (40 %) no produjeron raíces pequeñas. El resto, se distribuyó heterogéneamente entre las escalas mayores. El grupo 3 se caracterizó porque la mayoría de sus accesiones (67 %) tuvieron casi toda su producción de raíces enmarcado en este tamaño (Figura 6).

1.4.7. Color del estandarte de la flor

El color del estandarte permite identificar al grupo 1 como el de mayor homogeneidad, teniendo el 62% (8 accesiones) de color violeta grisáceo y un 38% con el estandarte de color violeta. En la Figura 7 se aprecia además, que el grupo 2 es el de mayor variabilidad ya que 3

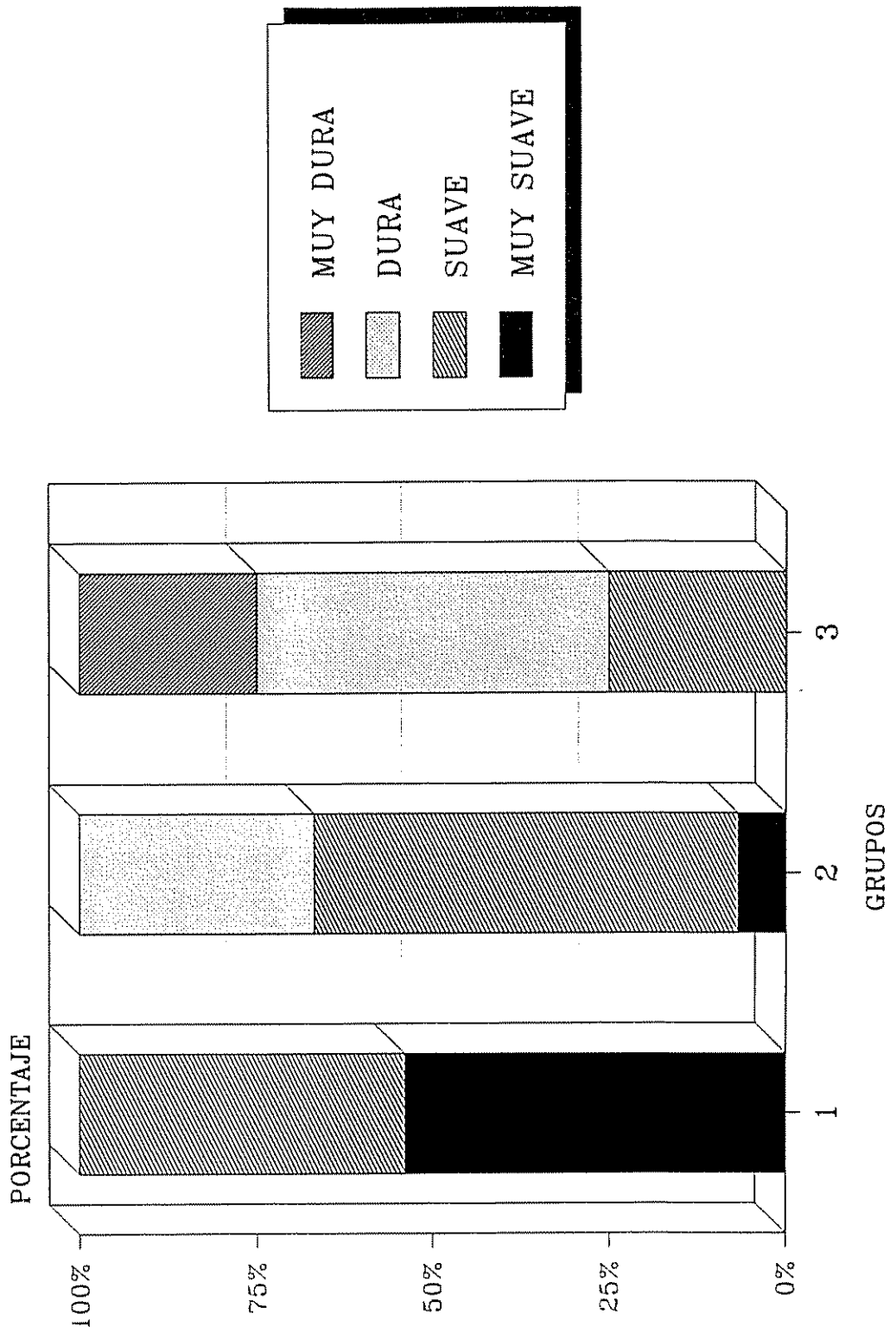


Figura 5. Dureza de la pulpa de la raíz

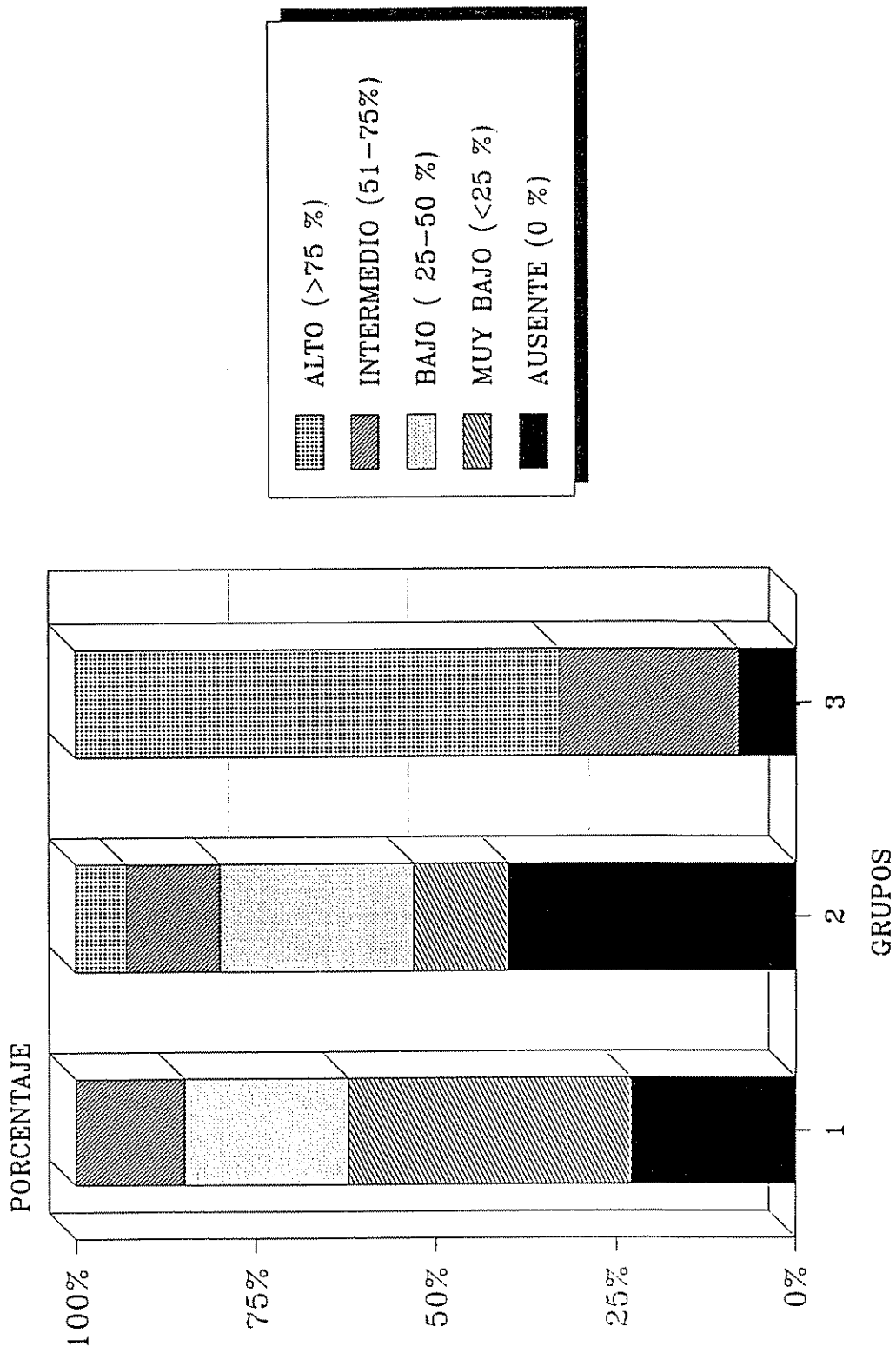


Figura 6. Porcentaje de raíces pequeñas

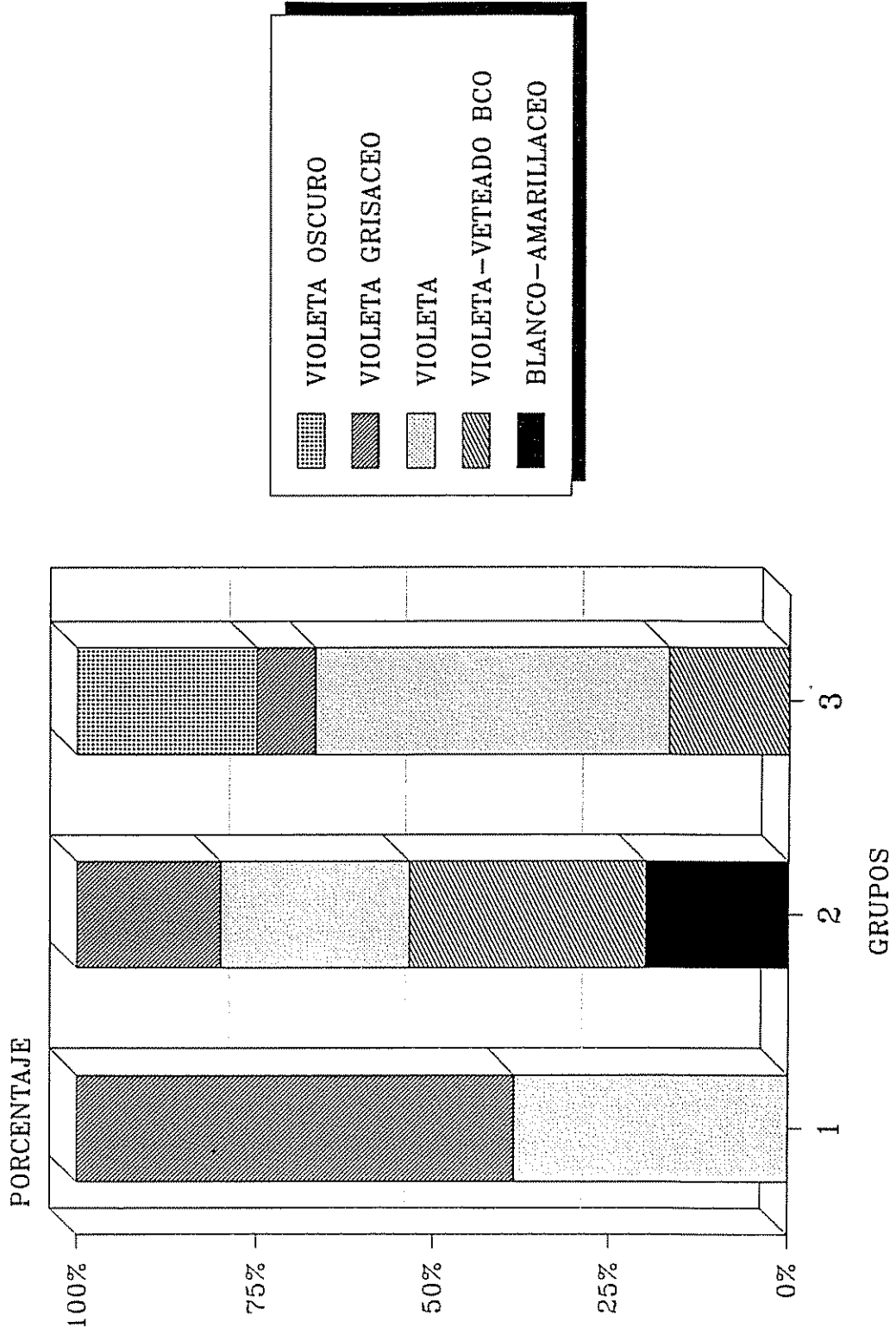


Figura 7. Color del estandarte de la flor.

accesiones fueron de color blanco-amarilláceo, 5 de color violeta con veteado blanco, 4 de color violeta y 3 de violeta grisáceo. Por su parte, en el grupo 3 predominaron aquellas accesiones de color violeta (50%) y las de color violeta oscuro (25%), que lo distinguen de los otros grupos.

1.4.8. Porcentaje de materia seca de las raíces tuberosas

A pesar de que los porcentajes de materia seca son relativamente bajos permiten diferenciar a las accesiones de los grupos 1 y 3 ya que el primero agrupó a aquellas accesiones cuya materia seca se clasifica entre bajo e intermedio (6 a 10%), con 8 y 5 accesiones, respectivamente. Por el contrario, el grupo 3 tuvo un 75% (9 accesiones) con alto porcentaje de materia seca cuyo promedio osciló entre 10 a 13%. El grupo 2 tuvo la mayor variabilidad en donde predominaron las del tipo intermedio con porcentajes entre 8 y 10% (Figura 8).

1.4.9. Hábito de crecimiento

El hábito de crecimiento da una indicación de la parte vegetativa de las accesiones que permite considerar estrategias de manejo en el campo, como la densidad de siembra por hectárea y su relación con el tamaño de la raíz. La Figura 9 muestra que el grupo 1 contiene el 62% de sus accesiones identificadas como del tipo "compacto-arbustivo" y el 38% restante fue del tipo "semicompacto". El grupo 2 lo constituyen principalmente aquellas accesiones de tipo "semicompacto" (67%) y un 26% del tipo "disperso". El grupo 3 es más variable predominando de nuevo los de tipo "semicompacto" y "disperso", e incluyendo dos accesiones tipo "muy disperso". En general, el 75% de las accesiones

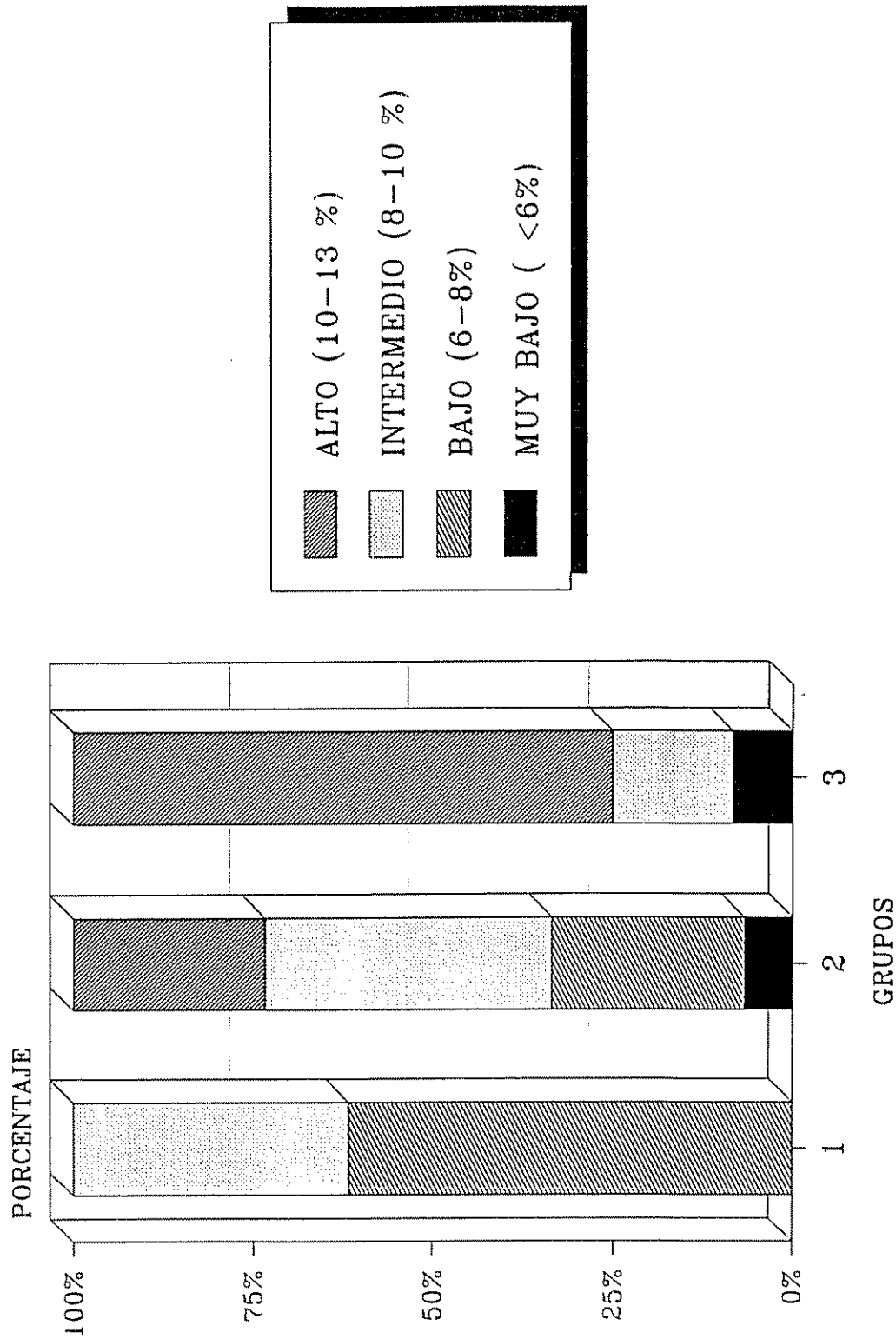


Figura 8. Porcentaje de materia seca de las raíces

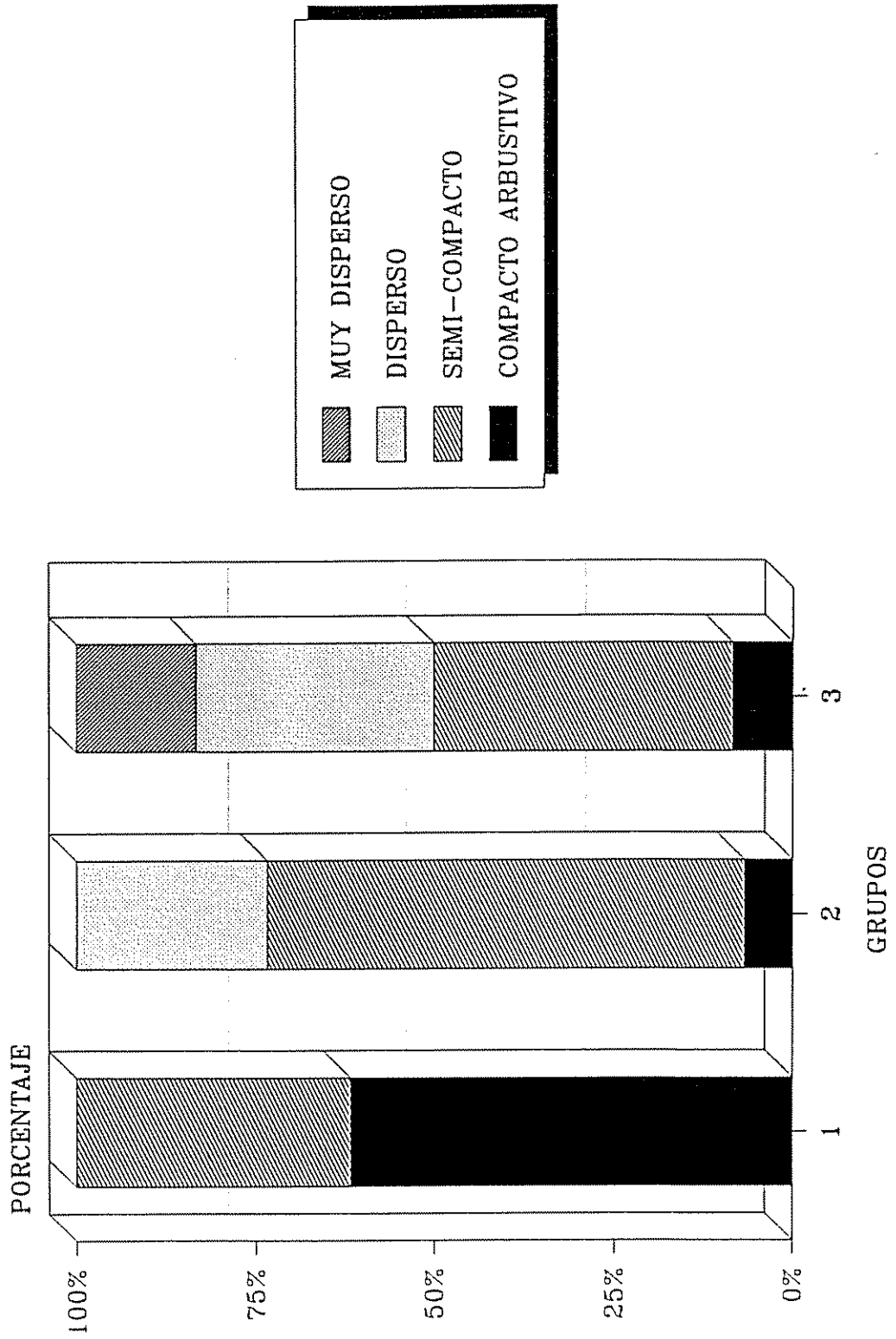


Figura 9. Hábito de crecimiento.

mostraron un hábito deseable para la producción mecanizada entre "compacto-arbustivo" y "semicompacto".

1.4.10. Período de floración por parcela

Este carácter expresa la uniformidad en la floración de las plantas de la parcela y el período de duración de la misma. El grupo 1 se caracterizó por agrupar accesiones con un período corto de floración (70%) cuyo promedio varía entre 20 a 35 días. Dos accesiones mostraron un período muy corto con promedio menor a 20 días, que indica una alta sincronización entre sus plantas (Figura 10). Los grupos 2 y 3 fueron muy similares, predominando accesiones de períodos de floración intermedia que cubren un rango de 36 a 50 días. En general, el 85% de las accesiones evaluadas tuvieron períodos de floración de corto a intermedio.

1.4.11. Tamaño de la semilla

El tamaño de la semilla no es muy variable dentro de la colección, presentando 3 clases que van de pequeña, intermedia a grande. Se observa en la Figura 11 que el grupo 1 presentó accesiones con semilla grande (69%), mientras que los grupos 2 y 3 tuvieron una mayor cantidad de accesiones de semilla intermedia y pequeña. La mayor variación se encontró en el grupo 3, conteniendo proporciones similares de los tres tamaños de semilla. El 70% (28 accesiones) de la colección evaluada mostró semillas de pequeña a intermedia.

1.4.12. Forma de la raíz tuberosa

La forma de la raíz fue variable dentro de cada accesión, debiendo registrar la forma predominante para las

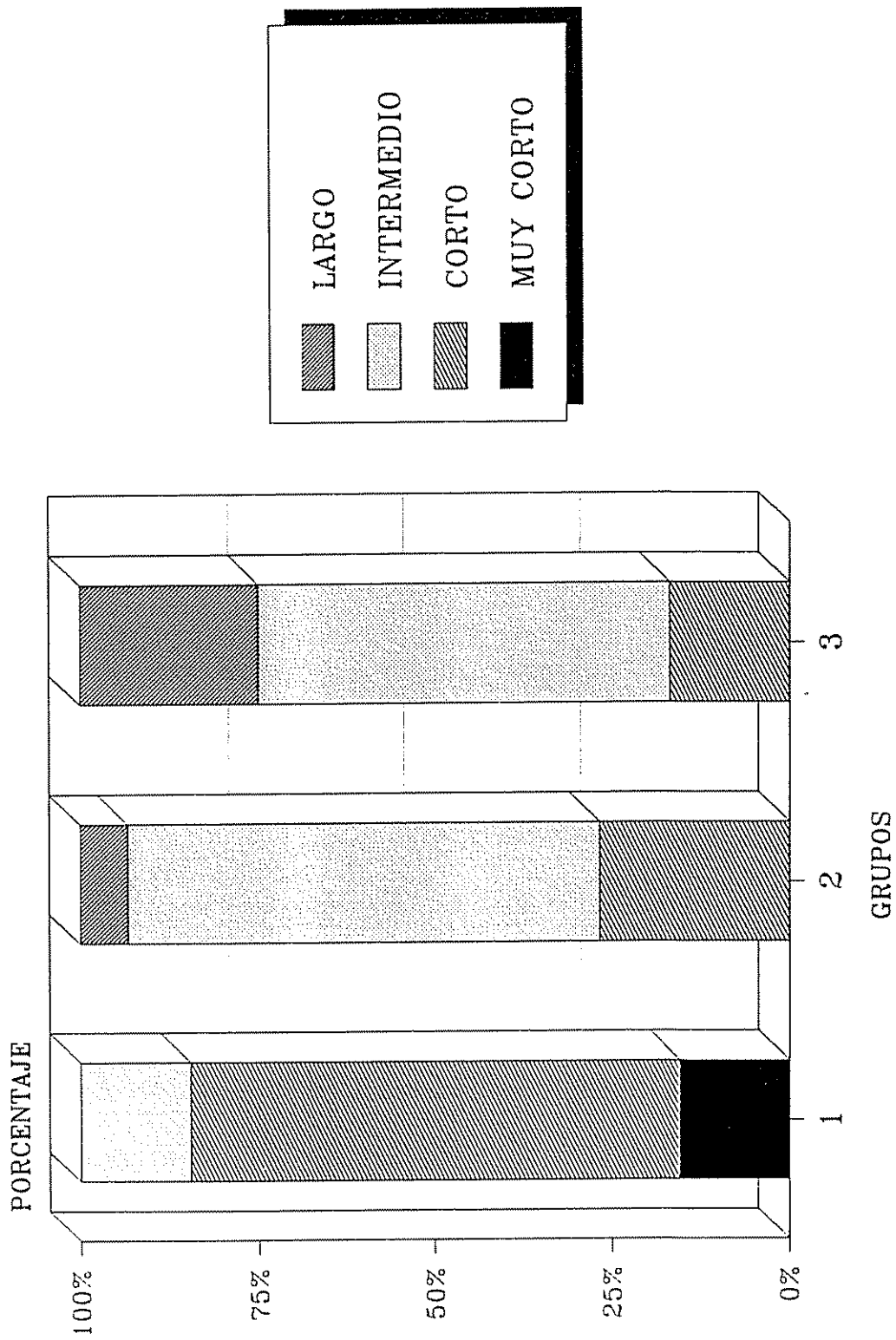


Figura 10. Período de floración por parcela

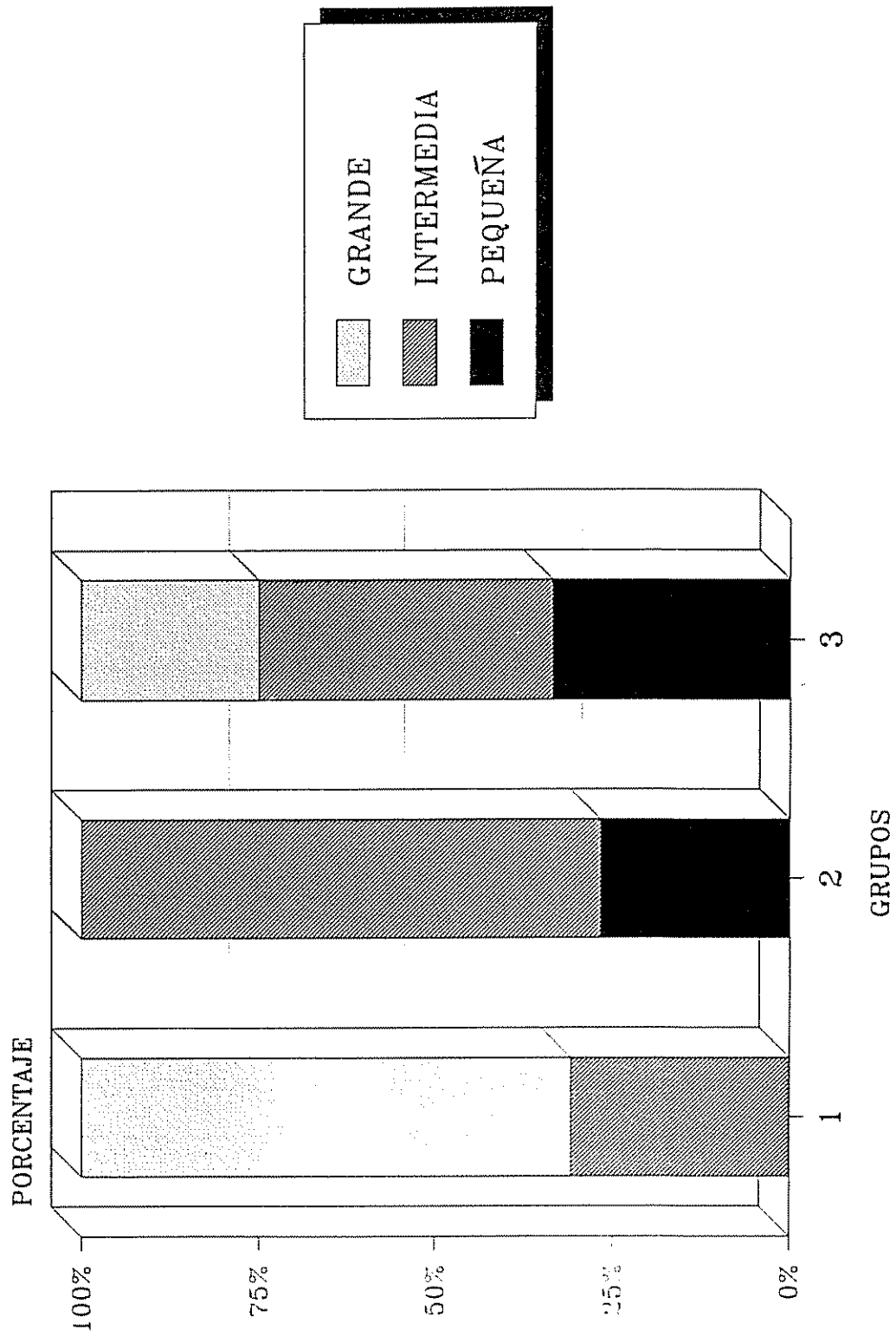


Figura 11. Tamaño de la semilla.

comparaciones. A pesar de no tener un alto valor discriminante, es importante observar su distribución por grupos ya que la preferencia comercial de la jícama cultivada está hacia la forma "esférica" y "redonda-achatada"; de manera , que ésta tiene un alto valor para aspectos de mejoramiento y comercialización.

En la Figura 12 se aprecia que tanto el grupo 1 como el 2 contienen, en su mayor parte (62 y 67 %, respectivamente), a aquellas accesiones con forma "lobulada", no muy deseable para el consumo por las constricciones que se presentan en la superficie, haciendo difícil la remoción de la corteza. Sin embargo, la forma "redonda-achatada", que es una de las deseables, tuvo una frecuencia baja (11 accesiones) entre los tres grupos. El grupo 3 fue el más variable, conteniendo incluso a 2 accesiones de forma "esférica" muy deseable para la comercialización.

1.4.13. Color de la semilla

El más homogéneo para el color de la semilla fue el grupo 1, en donde el 85 % de las accesiones tuvieron color pajizo ó café-amarilláceo. Los grupos 2 y 3 fueron similares, con la diferencia de que el grupo 2 contiene las únicas 3 accesiones de color "café rojizo" de toda la colección caracterizada (EC-120A-R , EC-214-R y EC-234-R). El grupo 3 lo integran proporciones similares de accesiones con el color pajizo, café claro y café oscuro.

1.5. Características de los agrupamientos

El Cuadro 14 resume la frecuencia de accesiones y su porcentaje en relación a los estados de los 13 caracteres

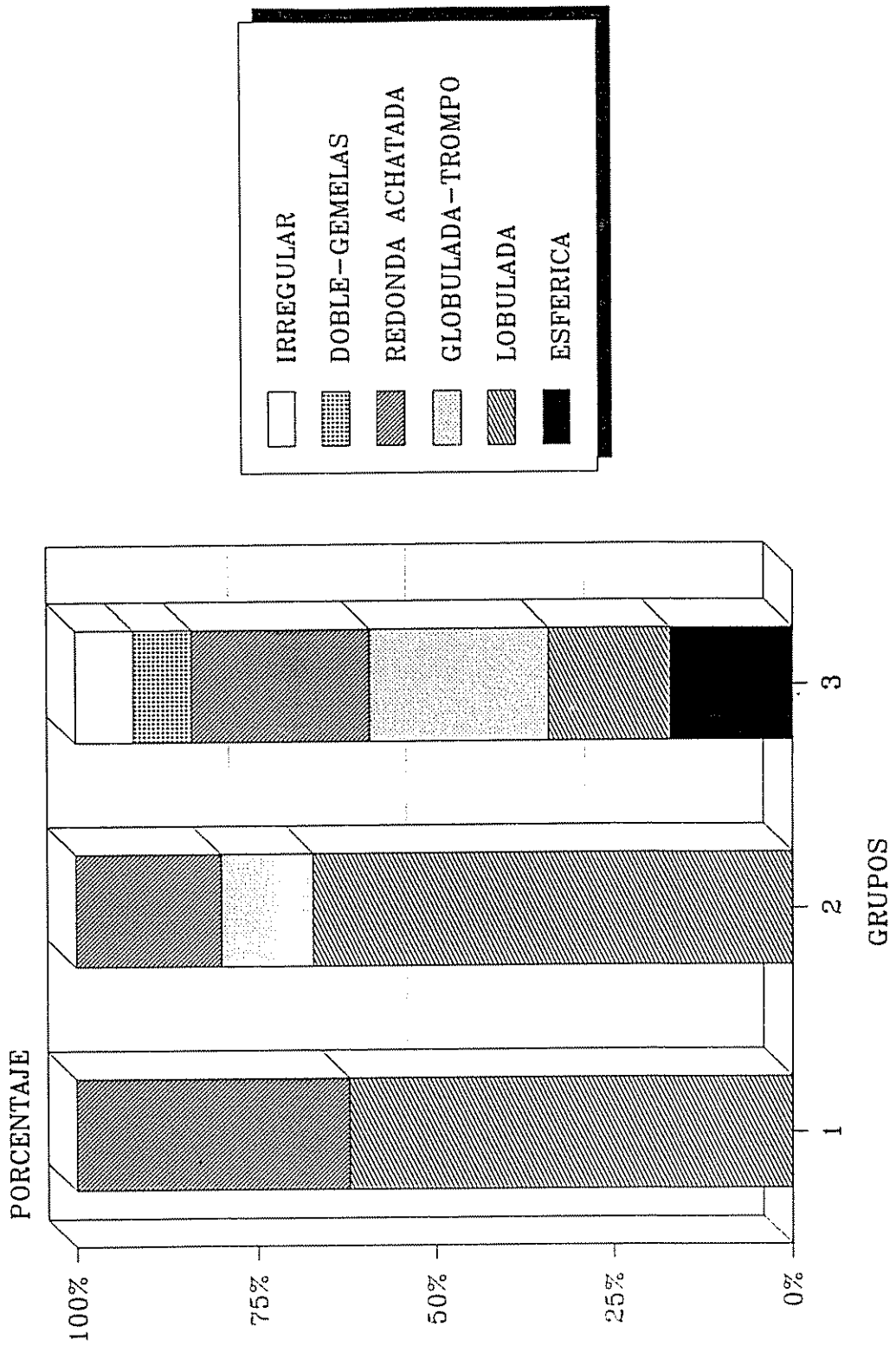


Figura 12. Forma de la raíz tuberosa

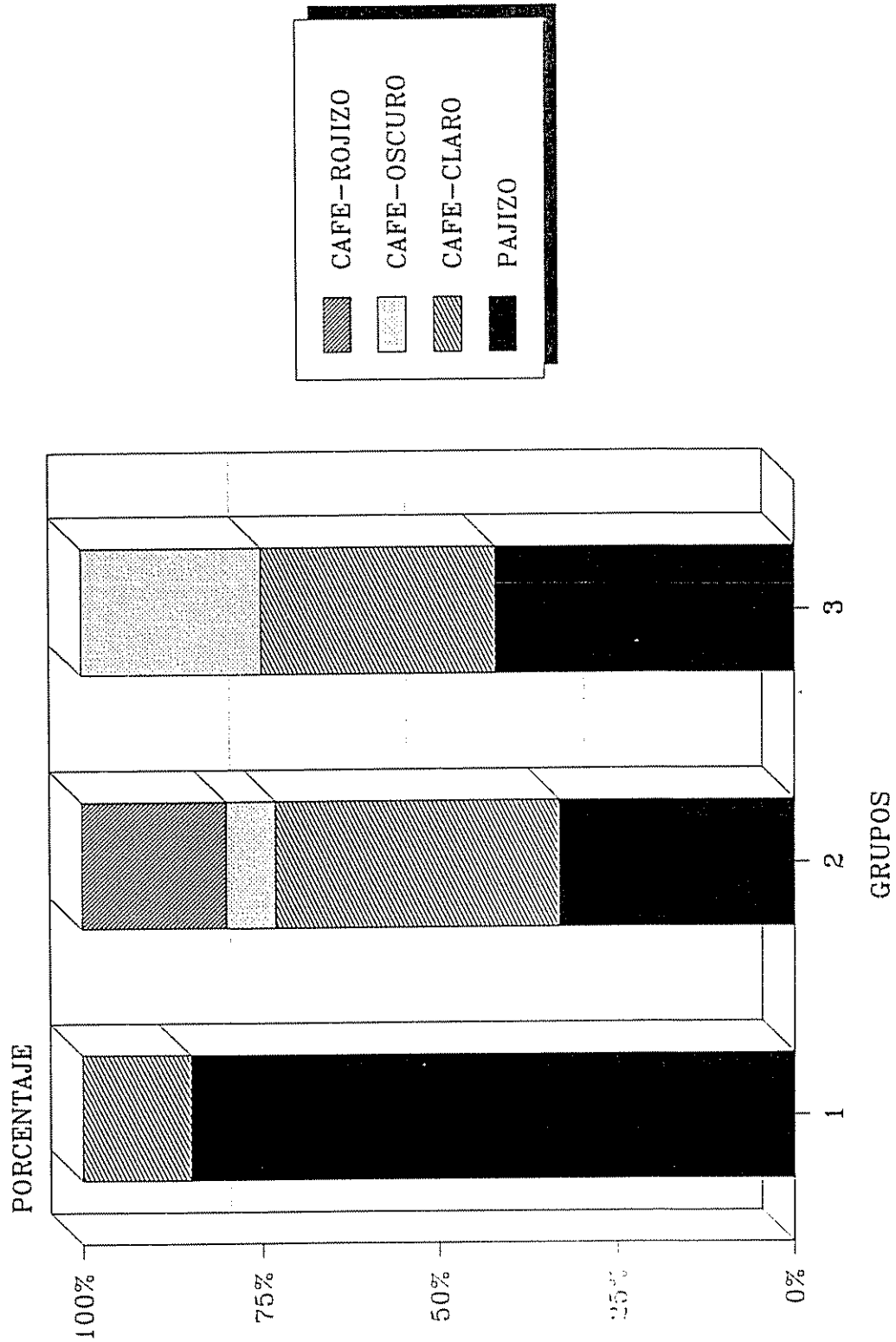


Figura 13. Color de la semilla

Cuadro 14. Frecuencia de las accesiones de *Pachyrhizus erosus* según el estado de los caracteres cualitativos con mayor poder discriminante entre los agrupamientos jerárquicos de Ward. CATIE, 1992.

CARACTER	GRUPOS			TOTAL ACCESIONES (%)
	1	2	3	
	(%)	(%)	(%)	
Hábito de floración				
0. Ausente	-----	-----	-----	-----
1. Muy escaso	4 (31)	-----	-----	4 (10)
3. Escaso	5 (38)	6 (40)	-----	11 (28)
5. Moderado	4 (31)	8 (53)	2 (17)	14 (35)
7. Profuso	-----	1 (7)	6 (50)	7 (17)
9. Muy profuso	-----	-----	4 (33)	4 (10)
Número de botones florales por inflorescencia				
1. Muy escaso (10-20 botones)	11 (85)	2 (13)	-----	13 (33)
3. Escaso (21-30 botones)	2 (15)	9 (60)	3 (25)	14 (35)
5. Moderado (31-40 botones)	-----	3 (20)	6 (50)	9 (22)
7. Profuso (> 40 botones)	-----	1 (7)	3 (25)	4 (10)
Porcentaje de plantas fértiles				
1. Muy bajo (< 10 % con vainas)	-----	-----	-----	-----
3. Bajo (10-50 %)	7 (54)	-----	-----	7 (17)
5. Intermedio (50-75 %)	2 (15)	6 (40)	1 (8)	9 (23)
7. Alto (75-95 %)	3 (23)	8 (53)	3 (25)	14 (35)
9. Muy alto (95-100 %)	1 (8)	1 (7)	8 (67)	10 (25)
Porcentaje de raíces medianas				
0. Ausente (0 %)	-----	-----	6 (50)	6 (15)
1. Muy bajo (<25 %)	-----	2 (13)	2 (17)	4 (10)
3. Bajo (25-50 %)	2 (15)	2 (13)	3 (25)	7 (18)
5. Intermedio (51-75 %)	3 (23)	7 (47)	1 (8)	11 (27)
7. Alto (>75 %)	8 (62)	4 (27)	-----	12 (30)
Dureza de la pulpa de la raíz				
1. Muy suave	7 (54)	1 (7)	-----	8 (20)
3. Suave	6 (46)	9 (60)	3 (25)	18 (45)
5. Dura	-----	5 (33)	6 (50)	11 (28)
7. Muy dura	-----	-----	3 (25)	3 (7)
Porcentaje de raíces pequeñas				
0. Ausente (0 %)	3 (23)	6 (40)	1 (8)	10 (24)
1. Muy bajo (<25 %)	5 (39)	2 (13)	-----	7 (18)
3. Bajo (25-50 %)	3 (23)	4 (27)	-----	7 (18)
5. Intermedio (51-75 %)	2 (15)	2 (13)	3 (25)	7 (18)
7. Alto (>75 %)	-----	1 (7)	8 (67)	9 (22)

Continuación Cuadro 14.

CARACTER	GRUPOS			TOTAL
	1	2	3	ACCESIONES
	(%)	(%)	(%)	(%)
Color del estandarte de la flor				
1. Blanco-Amarilláceo	-----	3 (20)	-----	3 (8)
2. Violeta con veteado blanco	-----	5 (33)	2 (17)	7 (17)
3. Violeta	5 (38)	4 (27)	6 (50)	15 (37)
4. Violeta grisáceo	8 (62)	3 (20)	1 (8)	12 (30)
5. Violeta oscuro	-----	-----	3 (25)	3 (8)
Porcentaje de materia seca de raíces				
1. Muy bajo (<6 %)	-----	1 (6)	1 (8)	2(5.0)
3. Bajo (6-8 %)	8 (62)	4 (27)	-----	12(30.0)
5. Intermedio (8-10 %)	5 (38)	6 (40)	2 (17)	13(32.5)
7. Alto (10-13 %)	-----	4 (27)	9 (75)	13(32.5)
Hábito de crecimiento				
3. Compacto arbustivo	8 (62)	1 (7)	1 (8)	10 (25)
5. Semi-compacto	5 (38)	10 (67)	5 (42)	20 (50)
7. Disperso	-----	4 (26)	4 (33)	8 (20)
9. Muy disperso	-----	-----	2 (17)	2 (5)
Período de floración por parcela				
1. Muy corto (<20 días)	2 (15)	-----	-----	2 (5)
3. Corto (20-35 días)	9 (70)	4 (27)	2 (17)	15 (38)
5. Intermedio (36-50 días)	2 (15)	10 (67)	7 (58)	19 (47)
7. Largo (>50 días)	-----	1 (6)	3 (25)	4 (10)
Tamaño de la semilla				
3. Pequeña	-----	4 (27)	4 (33)	8 (20)
5. Intermedia	4 (31)	11 (73)	5 (42)	20 (50)
7. Grande	9 (69)	-----	3 (25)	12 (30)
Forma de la raíz tuberosa				
1. Esférica	-----	-----	2 (17)	2 (5)
2. Lobulada	8 (62)	10 (67)	2 (17)	20 (50)
3. Globulada-trompo	-----	2 (13)	3 (25)	5 (13)
5. Redonda-achatada	5 (38)	3 (20)	3 (25)	11 (27)
6. Doble-gemelas	-----	-----	1 (8)	1(2.5)
8. Irregular	-----	-----	1 (8)	1(2.5)
Color de la semilla				
1. Café-amarilláceo	11 (85)	5 (33)	5 (42)	21 (53)
2. Café-claro	2 (15)	6 (40)	4 (33)	12 (30)
3. Café-oscuro (6-F8)	-----	1 (7)	3 (25)	4 (10)
4. Café-rojizo (10-F8)	-----	3 (20)	-----	3 (7)

cualitativos de alto valor discriminante. El análisis individual por carácter se hizo anteriormente, pero la integración de todos facilita la comprensión de relaciones taxonómicas y de manejo dentro del agrupamiento. Por otra parte los Cuadros 10A, 11A, 12A, 13A, 14A y 15A presentan en detalle el registro para cada accesión de los estados para los caracteres cualitativos y cuantitativos.

1.5.1. Agrupamiento 1

Este agrupamiento se caracteriza porque sus accesiones tienen un hábito de floración que va desde muy escaso, escaso y moderado, con proporciones muy similares entre sí. El número de botones florales es muy escaso para el 85 %, lo que equivale a encontrar un promedio de 10 a 20 botones florales por inflorescencia, que al final del ciclo reproductivo originan una magnitud similar en la producción de vainas y semillas. La consecuencia inmediata de bajos niveles de floración se observa en el porcentaje de plantas fértiles que contienen vainas al final de su madurez fisiológica, ya que un 54 % de las accesiones presentan un porcentaje "bajo" (menor del 50 %) de plantas con vainas. Debe recordarse que la producción de semilla es importante para el nuevo ciclo de siembra, aún cuando el interés agronómico se concentre en la producción de raíces. A este respecto, se resalta el hecho de que la producción de raíces medianas (500-1000 g) es el carácter distintivo para el agrupamiento, debido a que el 85 % (11 accesiones) tienen un porcentaje de producción entre "intermedio" y "alto", es decir que son accesiones que a los 140 días y bajo las condiciones dadas de evaluación, son las deseables por el tamaño de raíces. Contrariamente, la producción de raíces pequeñas mostró un porcentaje entre "ausente" y "bajo".

Para el color del estandarte de la flor, cuya corola es típica de la familia papilionaceae, solamente se observan las variantes de color "violeta" y violeta-grisáceo con el 38 y 62 %, respectivamente.

El hábito de crecimiento es de tipo "compacto-arbustivo" para el 62 % y de tipo "Semi-compacto" para el 38 % restante, lo que hace pensar que se trata de las accesiones que por largo tiempo se han cultivado o han recibido alguna mejora para realizar siembras intensivas en la producción de jícama. Por otra parte, representan un agrupamiento cuya materia seca de raíz está entre bajo a intermedio (6-10 %) respecto al total, caracterizándose por ser bastante jugosas y suaves.

El período de floración por parcela es "corto" para el 70 %, con variaciones entre 20 a 35 días. Esto es importante ante el antagonismo que exhiben las fases de la floración y tuberización, por cuanto un menor período de floración beneficia a la tuberización. Generalmente, éste último es aplicable a este grupo, sin embargo, se debe considerar también, lo observado por Paull *et al* (1988) respecto a que la floración y tuberización muestran períodos traslapados de desarrollo y ambos pueden inducirse por condiciones de días cortos.

El tamaño de la semilla es "grande" para el 69 % e intermedio para el resto, caracterizándose la semilla por ser de color "pajizo" o café-amarilláceo para el 85 % de las accesiones. La forma de la raíz es "lobulada" para el 62 % y "redonda-achatada" para el 38 % (5 accesiones).

1.5.2. Agrupamiento 2

El 40 % de las accesiones mostró un hábito de floración "escaso" y un 53 % con hábito "moderado", de manera que se relaciona muy estrechamente con un "escaso" número de botones florales por inflorescencia cuyo promedio varía en un intervalo de 21 a 30. El 53 % (8 accesiones) presentó un porcentaje "alto" de plantas fértiles con vainas en su fase de madurez, mientras que otro 40 % tuvo un porcentaje "intermedio". El porcentaje de raíces medianas no presentó definiciones claras, aún cuando se observó un 47 % (7 accesiones) con porcentaje "intermedio", es decir, aquellas accesiones cuya producción es mayor del 50 %. La producción de raíces pequeñas fue variable dentro del grupo, ya que el 40 % no produce ninguna raíz de este tamaño pero también hay un 20 % cuyo porcentaje va de "intermedio" a "alto", es decir, accesiones con más del 50 % de su producción con raíces pequeñas. Para el 60 % , la pulpa tuvo características de suavidad, en tanto que un 33 % mostró escalas de dureza, indicando que hay accesiones con bastante fibra.

Respecto al color del estandarte de la flor, la diversidad va desde el blanco-amarilláceo hasta el violeta-grisáceo, sin predominancia de clase. El hábito de crecimiento es "semi-compacto" para el 67 % y de tipo "disperso" para el 26 % . El período de floración por parcela se caracterizó "intermedio" con intervalo de 36 a 50 días para el promedio por accesión.

El tamaño de la semilla es "intermedio" para el 73 % , asociado a un color café-claro (40 %) y café-amarilláceo (33 %). la forma de la raíz es "lobulada" para el 67 % lo que

manifiesta una gra similitud con el grupo 1 para este carácter.

1.5.3. Agrupamiento 3

Este grupo se integró de accesiones cuyo hábito de floración fue "profuso" (50 %) a "muy profuso" (33 %) y establece el contraste respecto a los otros agrupamientos. El número de botones florales está muy relacionado al carácter anterior e indica que el 50 % es del tipo "moderado" y un 25 % del tipo "profuso". Dado lo anterior, el porcentaje de plantas fértiles que mostraron vainas es "muy alto" para el 67 % y "alto" para un 25 % .

Curiosamente el porcentaje de raíces medianas fue de "bajo" a "ausente" para el 92 % de las accesiones, sin embargo, esto es explicable por los "altos" porcentajes de producción de raíces pequeñas, con mucha fibra en la pulpa que le brindan la dureza típica al agrupamiento.

Ligado a la dureza de la pulpa, se observó un "alto" porcentaje de materia seca para el 75 % , cuyo valor promedio osciló entre 10 a 13 % . El hábito de crecimiento es heterogéneo así como el color del estandarte de la flor, encontrando los extremos de hábito de crecimiento "muy disperso" que identifican a las accesiones EC-120-B y EC-104.

El período de floración por parcela varió desde "intermedio" a "largo" (36 y mayor a 50 días). El tamaño de semilla no muestra clase dominante pero el color tiende a ser café-amarilláceo, para un 42 % . No hay un estado distintivo para la forma de la raíz existiendo tanto las

formas deseables como las indeseables para la comercialización.

1.6. Estructura de los agrupamientos

La estructura taxonómica obtenida por la matriz de similitud con el agrupamiento jerárquico de Ward, se representa gráficamente por medio de un fenograma para mostrar la relación en grado de similitud entre dos accesiones o grupo de las mismas. Esta relación determina en cierta medida el parentesco genético entre accesiones y la variabilidad observada en cada agrupamiento.

Con base en el fenograma de la Figura 14 es evidente que el agrupamiento 1 representa a las accesiones de *Pachyrhizus erosus* que se cultivan en México, principalmente en la región de Celaya, Guanajuato. La única excepción es EC-214 de semilla café claro, colectada en el departamento de El Petén, Guatemala. Dos subgrupos son factibles de formar (A y B), siendo ambos muy similares entre sí, dado el valor reducido de la disminución proporcional de la varianza a la cual se unen (R^2 semiparcial). Según Sorensen (1990), los estados mexicanos de Nayarit, Guanajuato, Yucatán y Quintana Roo forman la región donde *Pachyrhizus erosus* se ha introducido como cultivo y por lo tanto el agrupamiento de estas accesiones refleja los efectos del mejoramiento que conducen hacia una base genética estrecha con menos varianza dentro de los subgrupos, especialmente en el B.

Con base en el Cuadro 10A se establece que la similitud entre accesiones del subgrupo A obedece a características propias como: El hábito de crecimiento "semi-compacto";

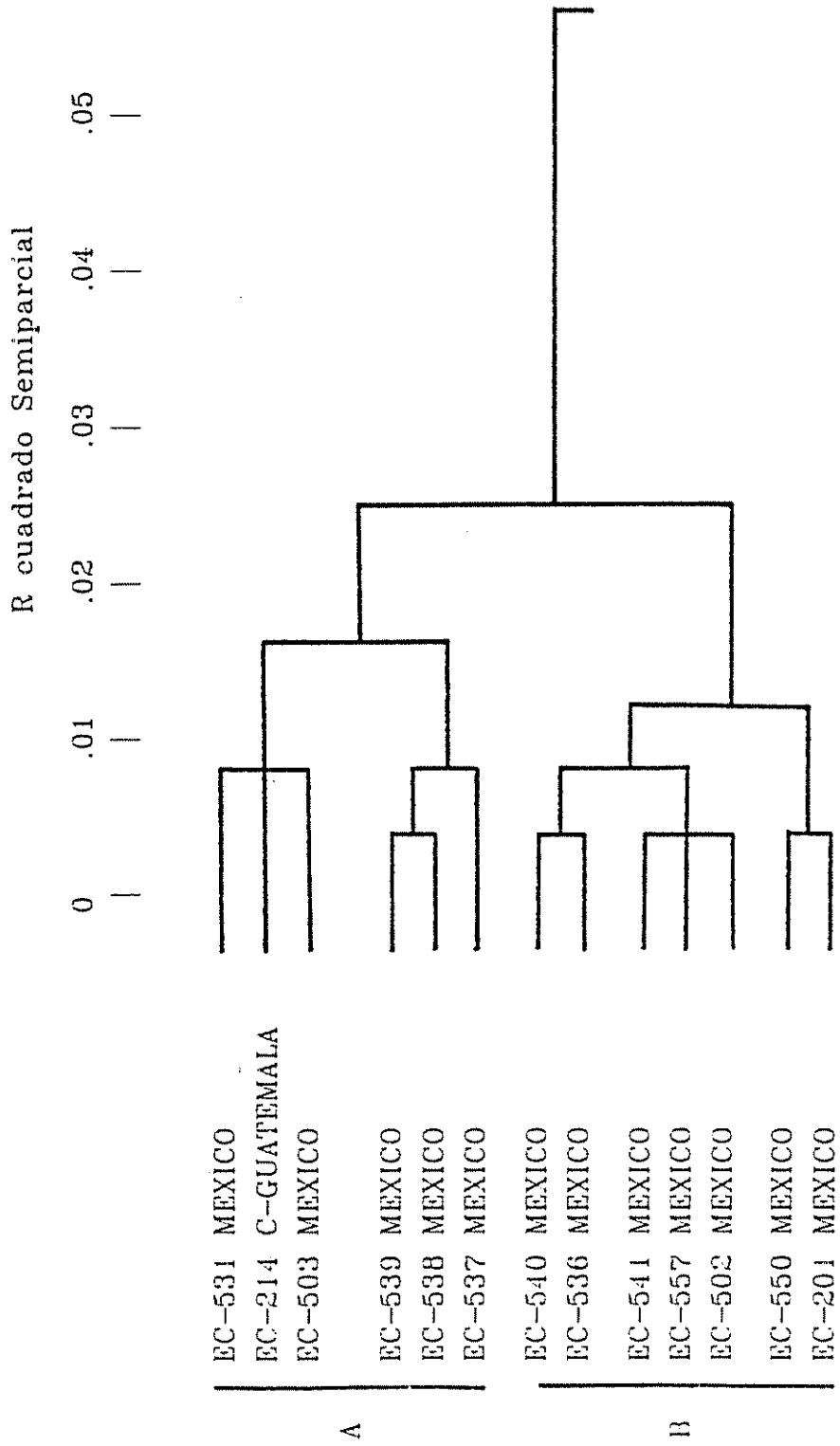


Figura 14. Fenograma de 13 accesiones de *Pachyrhizus erosus* en el agrupamiento I. CATIE, 1992

floración "moderada", donde el color del estandarte es típico "violeta-grisáceo"; más del 75% de sus plantas por parcela presentan vainas al final de su ciclo reproductivo; la producción de raíces es variable entre el tamaño pequeño y mediano, de "pulpa suave" y formas entre "lobulada" y "redonda-achatada".

El subgrupo B basa su similitud en las características del hábito de crecimiento "compacto-arbustivo"; floración "escasa" o "ausente" que origina que menos del 50% de sus plantas por parcela produzcan vainas al final de su ciclo; el color del estandarte de la flor es "violeta"; más del 75% de los raíces son de tamaño "mediano" (500 a 1000 g) de forma "lobulada" y con pulpa "muy suave"; la semilla es típicamente grande de color "café-amarilláceo".

El agrupamiento 2 muestra mayor diversidad geográfica de recolección de accesiones como se muestra en el fenograma de la Figura 15, formando tres subgrupos diferentes. En el subgrupo C las accesiones EC-234 de semilla café cultivada en Tailandia, EC-523 cultivada en Nigeria y EC-532 cultivada en U.S.A. muestran el mayor grado de similitud a pesar de la distancia geográfica. La misma relación se observa en el subgrupo B entre el núcleo formado por EC-214-R y EC-234-R de Guatemala y Tailandia, respectivamente, así como entre EC-533 de Macau y EC-120A-C de Guatemala.

El subgrupo A es el de mayor similitud y se caracteriza porque a excepción de EC-556 de El Salvador, todas se recolectaron en el departamento de Jutiapa, expresando de alguna manera su parentezco y adaptabilidad a una región del trópico seco de Guatemala. Las características distintivas de este subgrupo se relacionan con un "alto" porcentaje de

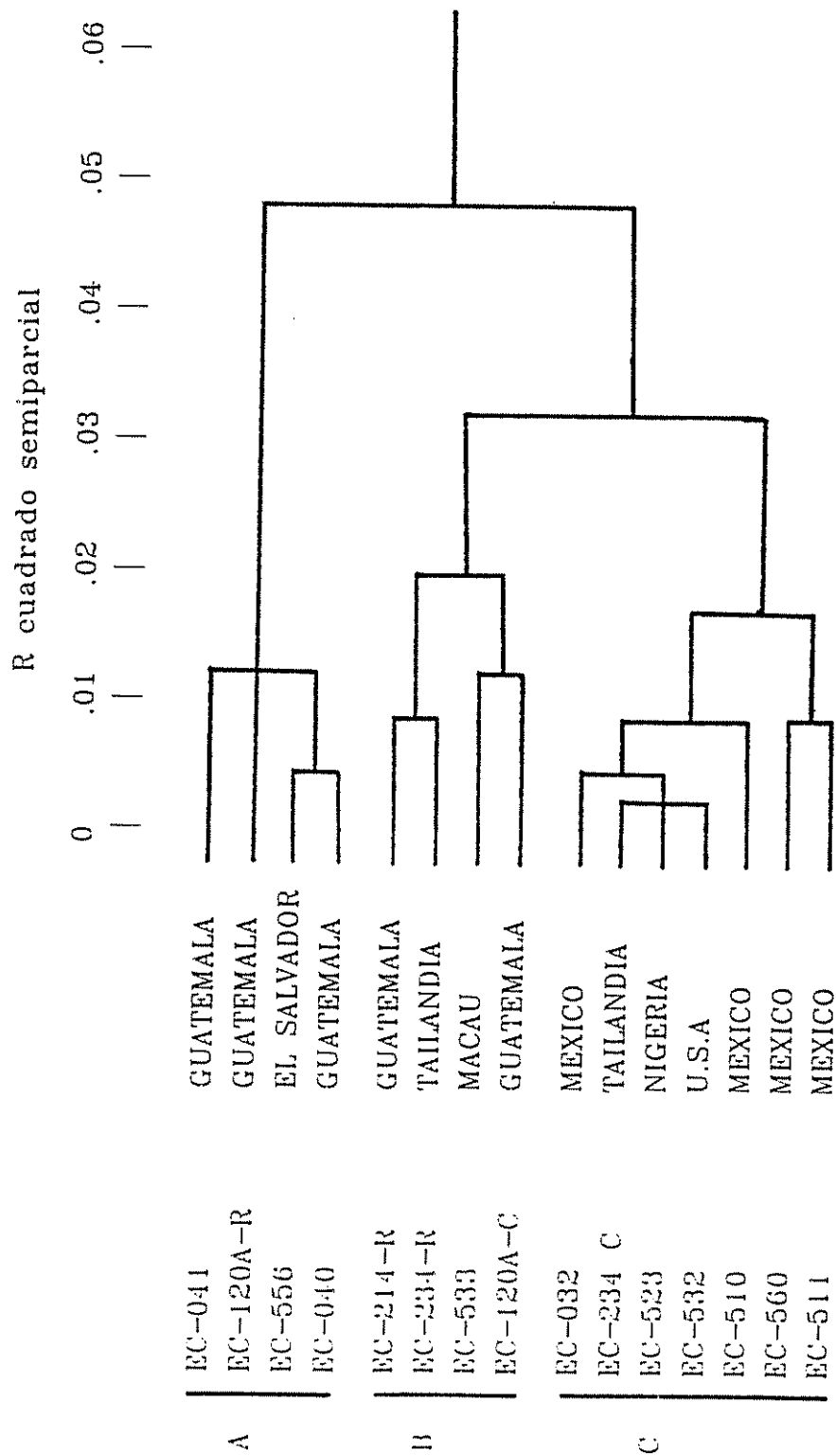


Figura 15. Fenograma de 15 accesiones de *Pachyrhizus erosus* en el agrupamiento 2. CATIE, 1992

plantas con vainas al final del ciclo reproductivo, un periodo de floración "intermedio" que va de 36 a 50 días, el color "violeta con veteado blanco" del estandarte de la flor y pulpa "suave" de la raíz (Cuadro 11A).

El subgrupo B es más heterogéneo y se diferencia por contener las accesiones de color "blanco-amarilláceo" para el estandarte de la flor que a su vez originan semillas de color "café-rojizo", periodo de floración por parcela de tipo "intermedio" (36 a 50 días).

El subgrupo C representa a las accesiones de un período "corto" de floración (20 a 35 días) y forma "lobulada" para la raíz.

El agrupamiento 3 refleja una base genética más amplia de *Pachyrhizus erosus* ya que se incluyen las accesiones silvestres y la varianza entre subgrupos es mayor, como se aprecia en el fenograma de la Figura 16. Aquí, el subgrupo A muestran la mayor similitud y en especial las del núcleo EC-509 y EC-117 de Costa Rica y Tailandia, respectivamente.

Con base en el Cuadro 12A se deduce que el subgrupo A se diferencia por el color "violeta" del estandarte de la flor, el hábito de crecimiento entre "semi-compacto" y "disperso", período de floración "intermedio"(36-50 días), el tamaño de semilla "pequeña" de color "café-claro" para las accesiones silvestres, que concuerdan con lo descrito por Sorensen (1990), así como las formas deseables de raíz "globulada o trompo" y "redonda-achatada".

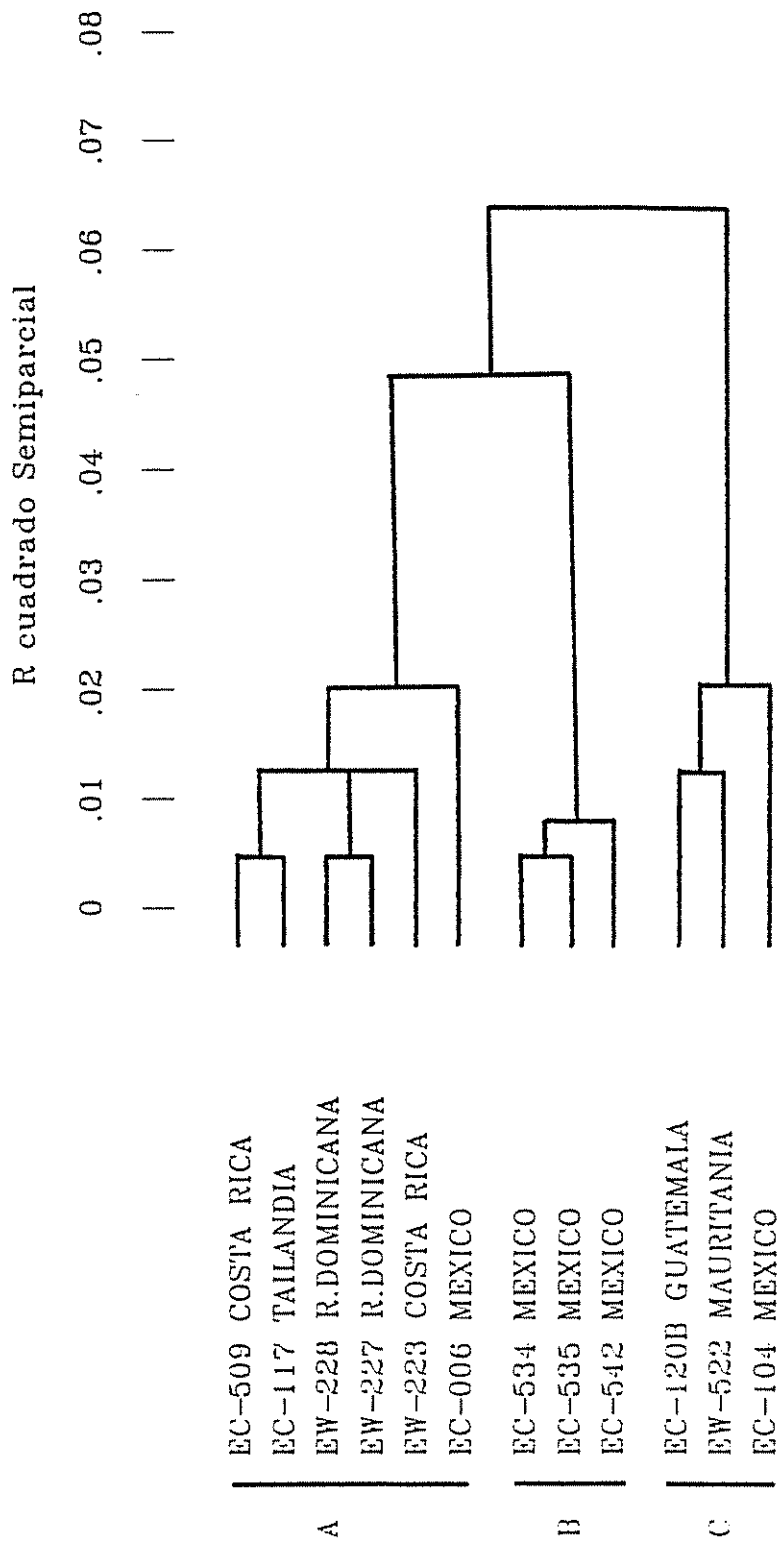


Figura 16. Fenograma de 12 accesiones de *Pachyrhizus crosus* en el agrupamiento 3. CATIE, 1992

La diferencia del subgrupo B se establece principalmente por el color "violeta-oscuro" del estandarte, hábito de crecimiento "semi-compacto", "corto" período de floración por parcela, semilla de color "café-amarilláceo" y la forma deseable "esférica" para la raíz tuberosa.

Las tres accesiones del subgrupo C difieren por el color "violeta con veteado blanco", hábito de crecimiento "muy disperso", un período "largo" de floración por parcela (más de 50 días) y el color "café-oscuro" de su semilla.

El agrupamiento de accesiones de diferentes áreas de recolección con una gran similitud morfológica, confirman las investigaciones de Sorensen (1990) sobre la dificultad de establecer la distribución natural de *Pachyrhizus erosus*; ya que se ha cultivado por un largo periodo de tiempo e introducido a gran número de áreas, que los lugares de recolección como los que se presentan aquí, fuera del Neotrópico, representan probablemente introducciones. Además, Sorensen (1990) hace mención a los reportes de Lundell (1938), Dibble y Anderson (1963) apoyando este hecho ya que hacen referencia al conocimiento del cultivo de *Pachyrhizus erosus* por los Aztecas en el Centro de México y por los Mayas en la península de Yucatán desde la época precolombina, así como las investigaciones de Burkill (1935), que indican que *Pachyrhizus erosus* fue conocido fuera del Neotrópico después del descubrimiento de América.

2. Estimación de parámetros genéticos

2.1 Variabilidad genética en *Pachyrhizus erosus*

El Cuadro 15 presenta el promedio, desviación estandar, coeficiente de variación e índice de herencia en sentido amplio para 26 caracteres de jícama en dos sitios de evaluación.

En Turrialba, la variabilidad del conjunto de caracteres de jícama estuvo en un intervalo de 2,6 a 62,9 %, expresado por el coeficiente de variación, en tanto que en Guácimo fue de 2,4 a 26,1 %. El carácter más variable en Turrialba fue el número de vainas/planta (62,9%), medido al momento de la cosecha de las raíces tuberosas. Esto se manifestó posteriormente en las grandes diferencias observadas entre accesiones para el porcentaje de plantas fértiles y su consecuente efecto detrimental en la producción de semilla, confirmando el alto valor discriminante del porcentaje de plantas fértiles en el análisis de agrupamiento. En Guácimo no se presentaron estas grandes diferencias de fertilidad, lo que sugiere que el ambiente ejerce alta influencia en la expresión de esta característica, principalmente la sensibilidad a la temperatura, reportado anteriormente por Alvarenga y Valio (1989) en variedades de *Pachyrhizus erosus*. En Turrialba, la temperatura promedio diaria para los 3 meses iniciales del cultivo estuvo entre 20,6 y 21,9° C, en tanto que para el mismo período, en Guácimo la temperatura osciló entre 23,2 y 24,2° C (Cuadro 1A y 2A).

Para ambas localidades, los coeficientes más bajos de variación correspondieron a días a madurez de vaina (2,6 y 2,4 %), longitud de la flor (3,7 y 3,3 %), ancho del

Cuadro 15. Promedio, desviación estandar (STD), coeficiente de variación (CV) e índice de herencia en sentido amplio (H²), de 26 caracteres de Jícama (Pachyrhizus erosus). Turrialba y Guácimo, Costa Rica, 1992.

CARACTER	CATIE-TURRIALBA				EARTH-GUACIMO			
	PROMEDIO	STD	CV %	H ²	PROMEDIO	STD	CV %	H ²
Longitud, flor (mm)	24,4	0,89	3,7	0,15 ± 0,04	24,2	0,79	3,3	0,24 ± 0,05
Ancho, estandarte (mm)	19,5	0,70	3,6	0,16 ± 0,04	19,0	0,66	3,5	0,21 ± 0,05
Días, inicio de floración	88,7	3,27	3,7	0,65 ± 0,06	63,4	2,19	3,5	0,76 ± 0,05
Longitud, segmento con botones florales(cm)	10,7	2,19	20,5	0,70 ± 0,06	17,2	2,97	17,3	0,39 ± 0,07
Inflorescencias/rama	2,6	0,57	21,9	0,70 ± 0,06	4,2	0,71	16,9	0,60 ± 0,06
Botones/inflorescencia	27,3	4,98	18,2	0,63 ± 0,06	54,4	5,43	10,0	0,64 ± 0,06
Longitud, tallo principal (cm)	45,3	7,55	16,7	0,85 ± 0,03	100,2	16,52	16,5	0,87 ± 0,03
Número, nudos tallo principal	6,6	1,39	21,1	0,64 ± 0,06	9,5	1,44	15,2	0,82 ± 0,04
Longitud, entrenudo (cm)	7,0	1,44	20,6	0,26 ± 0,06	12,9	1,99	15,4	0,38 ± 0,07
Diámetro, entrenudo (mm)	4,0	0,67	16,8	0,17 ± 0,04	4,2	0,73	17,4	0,13 ± 0,04
Ramas/planta	3,2	0,56	17,5	0,63 ± 0,06	3,8	0,66	17,4	0,35 ± 0,06
Velocidad, crecimiento (cm)	28,1	4,99	17,8	0,42 ± 0,07	54,5	9,64	17,7	0,39 ± 0,07

Continuación del Cuadro 15.

CARACTER	CATIE-TURRIALBA				EARTH-GUACIMO			
	PROMEDIO	STD	CV %	H ²	PROMEDIO	STD	CV %	H ²
Longitud, foliolo principal (cm)	9,1	1,08	11,9	0,25 ± 0,05	10,0	1,16	11,6	0,50 ± 0,07
Ancho, foliolo principal (cm)	11,8	1,44	12,2	0,27 ± 0,06	13,2	1,60	12,1	0,42 ± 0,07
Longitud, peciolo (cm)	7,4	1,47	19,9	0,19 ± 0,05	9,3	1,43	15,4	0,64 ± 0,06
Hojas/planta	19,5	4,07	20,9	0,87 ± 0,03	35,2	5,89	16,7	0,70 ± 0,06
Peso raíz tuberosa/planta	562,4	150,12	26,7	0,55 ± 0,07	217,0	56,67	26,1	0,67 ± 0,06
Diámetro raíz (cm)	11,7	2,08	17,8	0,36 ± 0,06	7,6	1,58	20,8	0,53 ± 0,07
Longitud, raíz (cm)	8,7	1,34	15,4	0,68 ± 0,06	9,9	1,81	18,3	0,66 ± 0,06
Materia seca (%)	8,5	1,14	13,4	0,72 ± 0,08	13,7	1,03	7,5	0,77 ± 0,08
Proteína, en base seca (%)	5,8	0,83	14,3	0,55 ± 0,08	4,0	0,51	12,8	0,54 ± 0,09
Longitud, vaina (mm)	118,7	11,94	10,1	0,27 ± 0,06	117,7	10,71	9,1	0,18 ± 0,04
Diámetro, vaina (mm)	14,2	1,09	7,7	0,17 ± 0,04	13,9	1,04	7,5	0,20 ± 0,05
Semillas/vaina	8,1	1,38	17,0	0,13 ± 0,04	8,0	1,32	16,5	0,06 ± 0,02
Vainas/planta	10,0	6,29	62,9	0,43 ± 0,07	22,7	4,60	20,3	0,69 ± 0,06
Días, madurez vaina	191,5	4,99	2,6	0,46 ± 0,07	157,8	3,77	2,4	0,75 ± 0,05

estandarte (3,6 y 3,5 %) y el diámetro de la vaina (7,7 y 7,5 %). Esto identifica a los caracteres de reducida variación en jícama a través de los dos sitios.

El peso de la raíz tuberosa por planta mostró variaciones similares con 26,7 % en Turrialba y 26,1 % en Guácimo, siendo importante para los propósitos de la selección.

Respecto al promedio de las características, se hace evidente que la longitud de la flor, el ancho del estandarte, el número de ramas por planta, el diámetro del entrenudo, la longitud del foliolo principal, el diámetro de la vaina, la longitud de la vaina, el número de semillas por vaina y la longitud de la raíz tuberosa, presentan valores similares en ambas localidades. Sin embargo, a excepción del número de ramas por planta y la longitud de la raíz, el índice de herencia para el resto, se encuentra entre 0,06 y 0,27 , indicando una proporción muy baja de varianza genética comparado con la variación generada por causas ambientales y de errores de medición.

Aquellos caracteres relacionados con el crecimiento vegetativo mostraron un marcado incremento en la localidad de Guácimo, incluyendo el número de vainas por planta , cuyo promedio superó el 100 % de lo observado en Turrialba. El efecto adverso se produjo en los caracteres del peso de la raíz y el porcentaje de proteína cruda en base seca.

Comparando el índice de herencia se deduce que en Guácimo el ambiente tuvo menos efecto en la expresión de los caracteres, debido a que en la mayoría de éstos se observa un incremento en su valor. Los valores altos de heredabilidad observados en la longitud del tallo principal

(0,85 y 0,87), el número de hojas por planta (0,87 y 0,70), porcentaje de materia seca de la raíz (0,72 y 0,77) y el número de inflorescencias por rama (0,70 y 0,60) sugieren que su expresión fenotípica es una buena indicación de su mérito genético. Sin embargo, esto sería hipotético ya que la heredabilidad misma no proporciona la cantidad de progreso genético que podría esperarse de la selección. Además, siendo el peso de la raíz tuberosa el carácter de mayor importancia económica, guarda relaciones antagónicas con el resto de variables del crecimiento, y por ello fue necesario conocer el grado de asociación mediante las correlaciones genéticas, fenotípicas y ambientales.

2.2 Correlaciones e índices de selección

Los Cuadros 16 y 18 presentan las correlaciones genéticas (r_g), fenotípicas (r_f) y ambientales (r_e), observadas en las localidades de Turrialba y Guácimo para los 13 caracteres que resumen el comportamiento de la población de *Pachyrhizus erosus*, respecto al crecimiento vegetativo y sus características productivas. Los primeros tres caracteres corresponden a la raíz; del cuarto al séptimo son caracteres de la flor; del octavo al onceavo, corresponde al tallo y la hoja; mientras que los últimos dos son caracteres de la vaina.

2.2.1 Turrialba

Las correlaciones en el Cuadro 16 mostraron que los caracteres del crecimiento vegetativo (número de nudos del tallo principal, longitud del tallo, número de hojas y la velocidad de crecimiento) tuvieron una asociación muy estrecha con los caracteres de la flor (inflorescencias/rama, botones/inflorescencia y largo de la inflorescencia);

Cuadro 16. Correlaciones genéticas (rg), fenotípicas (rf) y ambientales (re) entre 13 caracteres de jicama (*Pachyrhizus erosus*). CATIE-Turrialba, Costa Rica, 1992.

CARACTER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Peso raíz tuberosa / planta		0,19	0,07	-0,08	-0,05	0,01	-0,02	0,06	-0,02	-0,02	0,08	-0,01	-0,07
2. Diámetro raíz	rg 0,97 rf 0,53		0,22	-0,10	-0,01	0,02	0,01	0,03	-0,04	0,03	0,02	-0,02	-0,04
3. Longitud raíz	rg -0,48 rf -0,27	rg -0,69 rf -0,24		-0,02	0,01	0,01	-0,04	0,02	0,08	0,01	-0,05	0,09	-0,06
4. Días al inicio de floración	rg 0,47 rf 0,25	rg 0,39 rf 0,14	rg -0,29 rf -0,02		0,02	0,08	0,03	-0,01	-0,01	-0,02	0,02	-0,03	0,20
5. Inflorescencias / rama	rg -0,56 rf -0,37	rg -0,57 rf -0,29	rg 0,31 rf 0,21	rg -0,47 rf -0,31		0,09	-0,02	0,09	0,13	0,03	0,06	-0,05	0,03
6. Botones / inflorescencia	rg -0,70 rf -0,41	rg -0,76 rf -0,35	rg 0,61 rf 0,40	rg -0,34 rf -0,19	rg 0,62 rf 0,44		0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,07	-0,03
7. Longitud inflorescencia	rg -0,44 rf -0,28	rg -0,48 rf -0,51	rg 0,32 rf 0,21	rg -0,10 rf -0,06	rg 0,48 rf 0,33	rg 0,79 rf 0,53		-0,03	0,02	-0,01	-0,04	0,01	-0,07
8. Nudos tallo principal	rg -0,47 rf -0,26	rg -0,51 rf -0,23	rg 0,46 rf 0,31	rg -0,40 rf -0,26	rg 0,40 rf 0,58	rg 0,82 rf 0,70	rg 0,49 rf 0,32		0,44	0,02	0,22	0,13	-0,03
9. Longitud tallo principal	rg -0,53 rf -0,37	rg -0,66 rf -0,38	rg 0,58 rf 0,46	rg -0,16 rf -0,12	rg 0,79 rf 0,64	rg 0,72 rf 0,53	rg 0,62 rf 0,48	rg 0,86 rf 0,74		-0,02	0,24	0,37	-0,05
10. Velocidad de crecimiento	rg -0,13 rf -0,07	rg -0,05 rf 0,01	rg -0,04 rf -0,02	rg -0,37 rf -0,20	rg 0,35 rf 0,22	rg 0,43 rf 0,24	rg 0,62 rf 0,33	rg 0,46 rf 0,25	rg 0,43 rf 0,25		0,01	-0,04	-0,02
11. Hojas / planta	rg -0,56 rf -0,37	rg -0,69 rf -0,38	rg 0,65 rf 0,49	rg -0,30 rf -0,22	rg 0,79 rf 0,63	rg 0,74 rf 0,55	rg 0,52 rf 0,40	rg 0,93 rf 0,74	rg 0,94 rf 0,84	rg 0,31 rf 0,19		0,35	-0,14
12. Vainas / planta	rg -0,83 rf -0,41	rg -0,81 rf -0,33	rg 0,35 rf 0,23	rg -0,44 rf -0,25	rg 0,88 rf 0,46	rg 0,75 rf 0,42	rg 0,64 rf 0,35	rg 0,75 rf 0,45	rg 0,81 rf 0,60	rg 0,45 rf 0,30	rg 0,76 rf 0,56		-0,06
13. Días a madurez de vaina	rg -0,53 rf -0,30	rg -0,54 rf -0,24	rg 0,40 rf 0,20	rg -0,05 rf 0,06	rg 0,33 rf 0,20	rg 0,68 rf 0,35	rg 0,42 rf 0,21	rg 0,45 rf 0,23	rg 0,48 rf 0,29	rg 0,30 rf 0,12	rg 0,50 rf 0,28	rg 0,43 rf 0,16	

Correlación ambiental (re) en la parte superior de la diagonal

Correlación genética (rg) y fenotípica (rf) en la parte inferior de la diagonal

indicando, que bajo estas condiciones particulares de Turrialba, los genes que estimularon dicho crecimiento también lo hicieron sobre la floración y, consecuentemente, sobre la producción de semilla. Lo anterior, se fundamenta en que a mayor número de nudos, mayor inflorescencias por rama ($r_g = 0,82$), mayor número de botones florales por inflorescencia ($r_g = 0,62$) y así mismo, todos estos efectos favorecieron un mayor número de vainas/planta ($r_g = 0,88$).

El número de días al inicio de la floración, presentó correlaciones negativas con los caracteres del crecimiento vegetativo y la floración (Cuadro 16); de manera que aquellas accesiones cuya floración es más tardía, se asocian con un menor crecimiento vegetativo así como con una floración muy escasa. Sin embargo, esta situación favoreció el rendimiento de la raíz por planta ($r_g = 0,47$), aunque fenotípicamente la correlación entre el peso de la raíz y los días al inicio de la floración no fue tan evidente ($r_f = 0,25$) por influencia del ambiente.

El peso de la raíz tuberosa por planta mostró correlaciones genéticas y fenotípicas positivas, únicamente con el diámetro de la raíz y los días al inicio de la floración.

Estas respuestas correlacionadas serán de gran importancia en los programas de mejora genética de *Pachyrhizus erosus*, ya que permiten anticipar los tipos de plantas que se esperan cuando la selección considere al rendimiento de raíces como objetivo principal. Por ello, los índices de selección para predecir el valor genético del peso de la raíz por planta, para las diferentes accesiones, consideraron los siguientes caracteres: Peso de la raíz por planta (PR), diámetro de la raíz (DR), número de días al

inicio de la floración (INIF), botones florales por inflorescencia (BFI) y el número de hojas por planta (NH).

Las ecuaciones lineales de los índices y la respuesta esperada de su aplicación en la población de *Pachyrhizus erosus*, así como su eficiencia relativa, se presentan en el Cuadro 17.

El índice 1 representa la situación más sencilla donde la selección se basa únicamente en el peso de la raíz por planta. La respuesta esperada de 5491 D Kg/ha es utilizado como base de comparación de la eficiencia relativa para los siguientes índices que progresivamente incorporan al resto de los caracteres.

Estos resultados indican que hay un aumento en la eficiencia relativa al incorporar otras características en el índice, alcanzando un máximo incremento de 13 % (6183 D kg/ha) cuando se incluyen cinco caracteres correlacionados. Aunque esta eficiencia relativa no parece muy alta, es importante considerar que el peso de la raíz tuberosa es una característica compleja y altamente influenciada por variaciones ambientales (Grum, 1990); de manera, que al incluir los caracteres correlacionados de mayor heredabilidad permiten mayor precisión en la predicción del valor genético de las accesiones para el rendimiento de la raíz tuberosa.

Por otra parte, debido a la asociación que muestran los caracteres en las respuestas correlacionadas, el número de hojas/planta se espera que cambie a -6,53 D (Anexo 1), lo que significa que si la intensidad de selección incluyera al 5 % de la población evaluada (2,06 en unidades estandar), la reducción esperada sería en aproximadamente 13 hojas/planta.

Cuadro 17. Respuesta esperada en rendimiento de la raíz tuberosa, de Pachyrhizus erosus proveniente del uso de varios índices de selección y su eficiencia relativa. Turrialba, Costa Rica. 1992

No.	INDICE DE SELECCION	RESPUESTA ESPERADA		EFICIENCIA RELATIVA (%)
		g/planta	kg/ha	
1	0,55 PR (heredabilidad)	123,55 D	5491 D	100
2	0,448 PR + 0,192 DR	128,87 D	5727 D	104
3	0,411 PR + 0,191 DR + 0,150 INIF	133,20 D	5919 D	108
4	0,358 PR + 0,157 DR + 0,134 INIF -0,183 BFI	137,92 D	6129 D	112
5	0,351 PR + 0,140 DR + 0,124 INIF -0,138 BFI -0,101 NH	139,14 D	6183 D	113
6	0,332 PR + 0,124 DR + 0,114 INIF -0,098 BFI + 0,294 NH	100,41 D	3612 D	81

Aplicando restricción sobre el No de hojas/planta (NH):

Peso promedio observado de raíz/planta = 562,4 g = 24993 kg/ha (sin deflorear)

D = Intensidad de selección en unidades estandar

PR = Peso de la raíz

DR = Diámetro de la raíz

INIF = Número de días al inicio de la floración

BFI = Botones florales por inflorescencia

NH = Número de hojas

Dado que el promedio observado de hojas/planta fue de 19,5 (Cuadro 15), dicha selección conduce a un tipo de planta con aproximadamente 7 hojas. Para manejo agronómico mecanizado esto es deseable ya que permite seleccionar accesiones de hábito de crecimiento determinado. No obstante, si el programa de mejoramiento pretendiera incluir el follaje como alimento animal (como sucede con otras leguminosas), esto no parece ideal. Por ello se construyó el índice de selección 6, cuya restricción fue hacer cero el cambio genético en el número de hojas; pero que al mismo tiempo maximice el peso de la raíz tuberosa/planta.

La respuesta esperada en rendimiento de las raíces tuberosas por hectárea (Anexo 1 y Cuadro 17) es menor que la del índice 1 con 3612 D kg/ha, pero con la ventaja de que el promedio de hojas/planta se mantiene constante en su valor promedio, luego de la selección.

2.2.2 En Guácimo

Las relaciones observadas en Turrialba tuvieron una tendencia similar en Guácimo, con la excepción de que el carácter de los días al inicio de la floración no presentó el mismo efecto adverso sobre los caracteres de la flor y crecimiento vegetativo (Cuadro 18). El peso de la raíz tuberosa mostró únicamente correlaciones genéticas y fenotípicas positivas, con el diámetro de la raíz tuberosa, de 0,93 y 0,64 respectivamente. Aunque esta correlación genética indica una asociación consistente, la correlación fenotípica no es de igual magnitud e indica que existen efectos ambientales importantes en la asociación ($r_E = 0,22$). Sin embargo, los efectos adversos del resto de los caracteres con el rendimiento de la raíz tuberosa, no parecen consistentes dada la baja magnitud de las

Cuadro 18. Correlaciones genéticas (rg), fenotípicas (rf) y ambientales (re) entre 13 caracteres de jicama (*Pachyrhizus erosus*). EARTH-Guácimo, Costa Rica, 1992.

CARACTER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Peso raíz tuberosa por planta		0,22	0,09	0,16	-0,06	-0,13	0,05	0,04	0,05	0,03	0,06	-0,03	0,01
2. Diámetro raíz	rg 0,93 rf 0,64		0,07	0,03	-0,03	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	-0,06	0,02	-0,06	0,04
3. Longitud raíz	rg -0,29 rf -0,16	-0,57 -0,31		-0,06	0,13	-0,02	0,03	0,01	-0,03	0,02	0,06	0,06	-0,02
4. Días al inicio de floración	rg -0,36 rf -0,24	-0,57 -0,35	0,86		0,07	0,07	0,03	-0,08	-0,03	-0,01	0,05	0,01	0,01
5. Inflorescencias / rama	rg -0,30 rf -0,21	-0,33 -0,20	0,13 0,13	0,17 0,14		0,01	0,05	-0,06	0,04	0,09	0,09	0,07	0,10
6. Botones/ inflorescencia	rg -0,11 rf -0,08	-0,18 -0,11	0,01 0,01	-0,23 -0,14	0,43 0,27		0,10	0,08	0,11	0,15	0,10	0,15	0,11
7. Longitud inflorescencia	rg -0,46 rf -0,21	-0,56 -0,26	0,49 0,26	0,58 0,33	0,44 0,24	0,18 0,14		0,13	0,16	0,12	0,11	0,04	0,11
8. Nudos tallo principal	rg -0,30 rf -0,21	-0,49 -0,32	0,82 0,60	0,96 0,74	0,18 0,11	-0,41 -0,28	0,51 0,39		0,54	0,01	0,22	0,09	-0,03
9. Longitud tallo principal	rg -0,36 rf -0,26	-0,56 -0,38	0,83 0,62	0,94 0,76	0,17 0,13	-0,35 -0,24	0,54 0,36	0,98 0,91		0,09	0,18	0,08	0,05
10. Velocidad de crecimiento	rg -0,49 rf -0,24	-0,62 -0,31	0,54 0,28	0,59 0,32	0,39 0,23	-0,08 0,03	0,40 0,23	0,60 0,34	0,63 0,39		0,11	0,08	0,11
11. Hojas /planta	rg -0,30 rf -0,19	-0,56 -0,33	0,90 0,63	0,92 0,70	0,11 0,10	-0,08 -0,02	0,39 0,25	0,88 0,72	0,90 0,74	0,52 0,32		0,21	0,02
12. Vainas /planta	rg -0,06 rf -0,05	0,15 0,07	-0,74 -0,48	-0,70 -0,51	-0,10 -0,04	0,32 0,26	-0,32 -0,15	-0,72 -0,52	0,67 -0,50	-0,33 -0,14	-0,60 -0,35		0,05
13. Días a madurez de vaina	rg -0,37 rf -0,26	-0,61 -0,37	0,80 0,56	0,86 0,65	0,22 0,18	0,18 0,16	0,55 0,34	0,73 0,57	0,76 0,62	0,40 0,26	0,87 0,64	-0,49 -0,34	

Correlación ambiental (re) en la parte superior de la diagonal

Correlación genética (rg) y fenotípica (rf) en la parte inferior de la diagonal

correlaciones genéticas y fenotípicas (Cuadro 18), haciendo difícil plantear una selección indirecta para el peso de la raíz, como lo sugiere Grum (1990). Indudablemente el mayor desarrollo vegetativo enmascaró las relaciones evidentes y consistentes observadas en el ambiente de Turrialba.

Contrario a lo observado en Turrialba, los caracteres de crecimiento vegetativo (el número de nudos del tallo principal, el número de hojas, longitud del tallo, así como los días al inicio de la floración), mostraron un efecto adverso con los caracteres de la flor y principalmente con el número de vainas/planta (Cuadro 18); mediante correlaciones genéticas negativas de $-0,72$, $-0,60$, $-0,67$ y $-0,70$, respectivamente. Esto implica que los caracteres relacionados con la producción de raíces tuberosas y la semilla, se reducen a medida que un ambiente cálido como el de Guácimo estimula el crecimiento vegetativo de la planta.

Dada la correlación genética de $0,86$ entre la longitud de la raíz tuberosa y los días al inicio de la floración, se infiere que aquellas accesiones tardías en su floración presentan raíces tuberosas alargados de forma irregular y comercialmente no deseables, siendo por lo tanto más pertinente seleccionar las de mayor precocidad.

La selección por rendimiento de la raíz tuberosa deberá considerar por lo tanto para esta localidad, una combinación de caracteres como el diámetro de la raíz, longitud del tallo principal, los días al inicio de la floración, el número de nudos en el tallo principal y el número de hojas; así como el peso mismo de la raíz tuberosa que en Guácimo mostró mayor heredabilidad que en Turrialba ($0,67$ y $0,55$, respectivamente).

Los índices de selección se presentan en el Cuadro 19, con sus respuestas esperadas en kg/ha y su eficiencia relativa.

La respuesta esperada de la selección usando el índice 1 (peso de la raíz tuberosa) fue de 3528 D Kg/ha y al comparar las respuestas obtenidas con el resto de los índices, se aprecia que la eficiencia no se mejora significativamente al incluir otras características. La excepción es el índice 5, que incluye las características: Peso de la raíz tuberosa (PR), diámetro de la raíz tuberosa (DR), longitud del tallo principal (LT), días al inicio de la floración (INIF) y número de nudos del tallo principal (NUD), cuya respuesta esperada fue de 3864 D kg/ha y eficiencia relativa de 110 %.

El reducido aporte de otras características al mérito genético se debe, en parte, a las bajas correlaciones genéticas y/o fenotípicas que muestran con el peso de la raíz tuberosa, donde a excepción del diámetro de la raíz tuberosa, el resto osciló entre -0,30 y -0,36, no obstante una alta heredabilidad (Cuadro 17A).

Por otra parte, los índices de herencia y correlaciones genéticas y fenotípicas entre los caracteres del crecimiento vegetativo y de floración son de magnitudes similares; de manera que cada uno tiene igual valoración en la predicción del valor genético de la población de *Pachyrhizus erosus*, para el peso de la raíz tuberosa. Debe considerarse además que las fluctuaciones en las respuestas esperadas cuando se incorporan progresivamente otros caracteres, no obedecen a un efecto aditivo, como lo supone la función lineal del índice, sino que probablemente la relación entre los caracteres responde a otro tipo de función.

Cuadro 19. Respuesta esperada en rendimiento de la raíz tuberosa, de Pachyrhizus erosus proveniente del uso de varios índices de selección y su eficiencia relativa. Guácimo, Costa Rica. 1992

No.	INDICE DE SELECCION	RESPUESTA ESPERADA		EFICIENCIA RELATIVA (%)
		g/planta	kg/ha	
1	0,67 PR (heredabilidad)	79,39	3528	100
2	0,534 PR + 0,212 DR	81,71	3631	103
3	0,532 PR + 0,188 DR -0,065 LT	82,83	3681	104
4	0,532 PR + 0,186 DR -0,041 LT -0,039 INIF	82,06	3647	103
5	0,531 PR + 0,184 DR -0,095 LT -0,041 INIF + 0,066 NUD	86,94	3864	110
6	0,530 PR + 0,186 DR -0,103 LT -0,048 INIF + 0,062 NUD + 0,022 NH	81,64	3628	103

Peso promedio observado de la raíz/planta = 217,0 g = 9643 Kg/ha (sin deflorear)

D = Intensidad de selección en unidades estandar

PR = Peso de la raíz

DR = Diámetro de la raíz

LT = Longitud del tallo principal

INIF = Número de días al inicio de la floración

NUD = Número de nudos del tallo principal

NH = Número de hojas

No obstante lo anterior, el aporte conjunto de los caracteres en el índice 5 es el que mejor estima el mérito genético y por lo tanto es el más apropiado para la selección, en las condiciones de Guácimo.

Es importante resaltar que el índice 1 en ambas localidades representa el índice de herencia para peso de raíz por planta, que en Guácimo alcanzó un mayor valor de 0,67 comparado con 0,55 en Turrialba (Cuadro 15). Esto indica que el factor β para el peso de raíz (PR) es más importante en Guácimo para la predicción del mérito genético de las accesiones. Igual tendencia se observó para el factor β del diámetro de la raíz (DR). Por el contrario, en Turrialba los β para el inicio de la floración (INIF) presentan valores más altos que en Guácimo, lo que refleja la importancia de la precocidad en relación con la producción de raíz para dicha localidad.

En conclusión, los resultados de ambas localidades coinciden con los estudios de Paull *et al* (1988) y Zinsou y Venthou-Dumaine (1988), mencionados por Grum (1990), respecto a que la floración y tuberización tienen períodos traslapados de desarrollo, estimulados probablemente por el mismo mecanismo del fotoperíodo en días cortos, para algunas accesiones. Debido a estas respuestas diferenciales causadas por el fotoperíodo (especialmente la temperatura), los resultados de este estudio son propios para las localidades y la época de evaluación anteriormente expuestos.

Para la producción de semilla existen otras alternativas que permiten revertir el efecto negativo de la selección por peso de la raíz tuberosa, como la prolongación del cultivo en el campo para que el fotoperíodo estimule la

floración (Grum. 1990), el uso de fitohormonas como el cloruro de cloromequat (CCC) reportado por Zinsou *et al* (1987) que incrementa el número de vainas por planta.

V. CONCLUSIONES

1. Los tres agrupamientos jerárquicos obtenidos a través del método de Ward, resumen el parecido taxonómico entre las accesiones evaluadas, cuyas relaciones de disimilitud se establecen por los caracteres cuantitativos y cualitativos de mayor valor discriminante. Los caracteres cualitativos fueron, en orden de importancia : período de floración por planta, número máximo de botones florales, número de ramas por planta, número de ramas con inflorescencias, número de inflorescencias por rama y el número de hojas por planta. Los caracteres cualitativos fueron: Hábito de floración, número de botones florales por inflorescencia, porcentaje de plantas fértiles, porcentaje de raíces medianas, dureza de la pulpa, porcentaje de raíces pequeñas, color del estandarte de la flor, porcentaje de materia seca de raíces, hábito de crecimiento, período de floración por parcela, tamaño de la semilla, forma de la raíz y el color de la semilla. Esto expresa la importancia de los caracteres de la flor y del crecimiento vegetativo en la clasificación de jícama (*Pachyrhizus erosus*).

2. El reconocimiento de las relaciones de similitud de las accesiones dentro de grupos, se basa en aquellos caracteres cualitativos y cuantitativos que se identificaron con mayor valor discriminante entre accesiones. Los caracteres cualitativos fueron: porcentaje de raíces medianas, color del estandarte de la flor, forma de la raíz, pubescencia del tallo, defectos de la superficie de la raíz, color de la vaina en su madurez fisiológica, velocidad de crecimiento, forma del lóbulo central del foliolo, pubescencia de los sépalos y botones florales por inflorescencia. Los caracteres cuantitativos incluyen: Número máximo de vainas

por planta, número máximo de botones florales por inflorescencia, rendimiento de materia seca de la raíz (Kg/ha), ancho del foliolo principal de la hoja, longitud de la raíz, número de días al inicio de la floración, porcentaje de proteína cruda en base seca, longitud de la semilla y la relación ancho/largo del foliolo central de la hoja.

3. La caracterización morfológica y la estructura de los agrupamientos, establecen que el grupo 1 se caracteriza por contener accesiones con menor variabilidad genética, provenientes de un área común (México) y manifestaciones evidentes de su uso en cultivo intensivo. El grupo 2, aunque de mayor diversidad geográfica, las similitudes observadas manifiestan un posible ancestro común, producto de introducciones, confirmando las investigaciones de Sorensen (1990) sobre la gran distribución natural de la especie, fuera del área Neotropical. El grupo 3 contiene las accesiones silvestres y es el de mayor variabilidad genética en caracteres de la flor, raíz tuberosa y crecimiento vegetativo.

4. Los caracteres de menor variación en Turrialba y Guácimo para las 31 accesiones evaluadas, correspondieron a la longitud de la flor, ancho del estandarte y el diámetro de la vaina, con lo cual se confirma su importancia en la diferenciación de la especie *erosus* del resto que integran el género, tal como fue estudiado por Clausen (1945).

5. Los caracteres de mayor heredabilidad en Turrialba y Guácimo, correspondieron a la longitud del tallo principal, el número de hojas por planta, porcentaje de materia seca de raíces y el número de inflorescencias por rama. Esto

sugiere que su expresión fenotípica es una buena indicación de su valor genético, útil en la caracterización de *Pachyrhizus erosus*.

6. Las altas correlaciones genéticas y fenotípicas hacen evidente el efecto adverso entre los caracteres relacionados con el crecimiento vegetativo y la floración, con aquellos del rendimiento de raíz y vainas por planta. Lo anterior plantea la necesidad de utilizar ambos tipos de caracteres en forma conjunta para la predicción del mérito genético de las accesiones en cualquier programa de mejoramiento.

7. En Turrialba, el índice de selección que maximiza la respuesta esperada para el peso de raíz es la función lineal:

$$I = 0,351 PR + 0,140 DR + 0,124 INIF - 0,138 BFI - 0,101 NH$$

donde :

PR = peso de raíz/planta, DR = diámetro de raíz, INIF = número de días al inicio de la floración, BFI = botones florales/inflorescencia, NH = número de hojas.

8. En Guácimo el índice apropiado de selección es:

$$I = 0,531 PR + 0,184 DR - 0,095 LT - 0,041 INIF + 0,066 NUD$$

donde:

PR = peso de raíz/planta, DR = diámetro de raíz, LT = longitud del tallo principal, INIF = número de días al inicio de la floración, NUD = número de nudos del tallo principal.

LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, A. V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. IICA-Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., IICA-CTEI. 139 p.
- ALVARENGA, A. A. ; VALIO, I. F. M. 1989. Influence of temperature and photoperiod on flowering and tuberous root formation of *Pachyrhizus tuberosus*. Annals of Botany 63:411-414.
- ANDERBERG, M. R. 1973. Cluster analysis for applications. New York, Academic press. 361 p.
- BANSAL, R.K. 1990. Evaluation of Yam Bean breeding programe at Ministry of Agriculturae & Ferestry Research Station, Vaini, Tonga. In Second Annual Progress Report, The Yam bean project. p 146-151
- BRADSHAW, J. E. 1987. The choce of selection index in Kale (*Brassica oleracea* L.) population improvement. Theor. Appl. Genet. 75:165-169.
- CLAUSEN, R. T. 1945. A botanical study of the Yam beans (*Pachyrhizus*). Mem. Cornell Univ. Agric. Exp. Stat. 264:1-38.
- CLIFFOTD, H. T. y STEPHENSON, W. 1975. An introduction to numerical classification, New York, Academic press. 229 p.
- CORNIDE, M.T.;LIMA, H.; GALVEZ, G.; SIGARROA, A. 1985. Genética vegetal y fitomejoramiento. La Habana, Cuba, Editorial Científico-Técnica. 639 p.
- CRISCI, J.V ; LOPEZ, M.F. 1983. Introducción a la teoría y practica de la taxonomía numérica. Washinton. D.C., Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. 132 p.

- ENGELS, J. M. M. 1983a. A systematic description of cacao clones. 1. The discriminative value of quantitative characteristics. *Euphytica* (Holanda) 32:377-385.
- . 1983b. A systematic description of cacao clones. 2. The discriminative value of qualitative characteristics and the practical compatibility of the discriminative value of quantitative and qualitative descriptors. *Euphytica* (Holanda) 32:387-396.
- ENRIQUEZ, G. ; SORIA, J. 1968. The variability of certain bean characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Euphytica* 17:114-120.
- ESTABROOK, G. F. ; ROGERS, D. J. 1968. A general method of taxonomic description for a computed similarity measure. *BioScience* 16:789-793.
- FALCONER, D. S. 1989. Introduction to quantitative genetics. New York, Longman. 438 p.
- GRUM, M. 1990. Breeding *Pachyrhizus* Rich. ex DC: a review of goals and methods. In Second Annual Progress Report. The yam bean Project. p 152-229.
- HAZEL, L.N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28:476-490.
- ; LUSH, J.L. 1943. The efficiency of three methods of selection. *Journal of Heredity* 33:393-399.
- HARVEY, W.R. 1990. User's guide for LSMLMW and MIXMDL PC-2 version. U.S.A. 91 p.
- HOHENBOKEN, D. S. 1985. Phenotypic, genetic and environmental correlations. In General and quantitative genetics. Ed. Chapman, A. B. (Holanda). p 121-149.

- HULL, D.L. 1970. Contemporary systematic philosophies. Annual Review of Ecology System 1:19.
- JOHNSON, H.W. ; ROBINSON, H.F. ; COMSTOCK, R.E. 1955. Estimates of genetic and enviromental variability in soybeans. Agronomy Journal 47:314-318.
- KEMPHORNE, O. ; NORDSKOG, A. W. 1959. Restricted selection indices. Biometrics 15:10-19.
- LOPEZ, A. J. 1991. Descripción sistemática y parámetros genéticos para características cualitativas y cuantitativas en la Colección de Batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam. del CATIE. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 128 p.
- MILLER, P. A. ; WILLIAMS, V. C. ; ROBINSON, H. F. ; COMSTOCK, R. E. 1958. Estimates of genotypic and environmental variances and covariances in upland cotton and their implications in selection. Agronomy Journal 50:126-131.
- MORERA, J. A. 1992. Yam bean (*Pachyrhizus* Rich. ex DC.) rejuvenation, characterization, evaluation and utilization at CATIE, Costa Rica. First International Symposium on tuber legumes, Guadaloupe, FWI. Abril 21-24, 1992.
- MURTY, G.S. ; PAVATE, M.V. 1962. Estudios on quantitative inheritance in *Nicotiana tabacum* L. I. Varietal classification and selection by multivariate análisis. The Indian Journal of Genetics & plant breeding, 22:68-80.
- PANKHURST, R.J. 1978. Biological identification, The principles and practice of identification methods in biology. Edwar Arnold. London. 104 p.
- PAULL, R. E. ; CHEN, N. J. ; FUKUDA, S. K. 1988. Planting dates related to tuberous root yield, vine length, and quality attributes of yam bean. Hort Science 23:326-329.

- PEETERS, J. P. ; MARTINELLI, J. A. 1989. Hierarchical cluster analysis as a tool to manage variation in germplasm collections. *Theor Appl Genet* 78:42-48.
- ROBINSON, H.F. ; COMSTOCK, R.E. ; HARVEY, P.H. 1951. The genotypic and phenotypic correlations in corn and their implication in selection. *Agronomy Journal* 43:282-287.
- RONNINGEN, L.D. ; VAN VLECK, D. 1985. Selection index theory with practical applications. In *General and quantitative genetics*. ed. Chapman, A.B. (Holanda). p 187-212.
- SANCHO, F. M. ; MATA, R. ; MOLINA, E. ; SALAS, R. 1989. Estudio de Suelos de la Escuela de Agricultura de la Region Tropical Húmeda, Guácimo, Provincia de Limón. San José, C. R. p 48-54.
- SHUKLA, G.K. ; SINGH, D.P. 1967. Studies on heritability, correlation and discriminant function selection in Jute. *The Indian Journal of Genetics & plant breeding* 27:220-225.
- SINHA, R. P. ; PRAKASH, R. ; HAQUE, P. 1977a. Genetic variability in Yam bean (*Pachyrhizus erosus* Urban). *Tropical Grain Legume Bulletin* 7:21-23.
- .; -----; ----- 1977b. Genotypic and phenotypic correlation studies in yam bean (*Pachyrhizus erosus*). *Tropical Grain Legume Bulletin* 7:24-25.
- SMITH, H.F. 1936. A discriminant function for plant selection. *Ann. Eugen.* 7:240-250.
- SNEATH, P.H.A. ; SOKAL, R.R. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. Eds. D. Kennedy; R.B. Park. San Francisco, W.H. Freeman. 573 p.

- SORENSEN, M. 1988. A taxonomic revision of the genus *Pachyrhizus* (Fabaceae-Phaseoleae). *Nordic Journal of Botany* 8:167-192.
- 1990. Observations on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing legume genus *Pachyrhizus* Rich. ex DC. Wageningen agricultural, University papers. Wageningen Agricultural University 90(3):38 Pp.
- VAN DER HAVE, D.J. 1979. Plant breeding perspectives. Eds. J. Sneep ; A.J.T: Hendriksen (Holanda), Wageningen. 435 p.
- VAN VLEK, L. D. 1974. Notes on the theory and application of selection principles for the genetic improvement of animals. Department of animal Science, Cornell University, Ithaca, New York. 213 p.
- VERMA, G. ; SINGH, P. 1971. Selection based on multiple characters in barnyard millet (*Echinochloa crus-galli*) Beauv. *Indian Journal Agricultural Science* 41(9):752-757.
- WARD, Jr. J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* (EE.UU) 58:236-244.
- ZINSOU, C. ; VENTHOU-DUMAINE, A. 1988. Effects of different sowing dates on the growth and development of yam bean (*Pachyrhizus erosus* Urban). *Proceedings of the CFCS Meeting, Jamaica.* 8 pp.
- ; ----- ; VANSUYT, G. 1987. Croissance et development du *Pachyrhizus erosus* (Urban). Effets de l'acide gibberelique et du chlorure de chlorocholine en jours courts. *Agronomie* 7:677-683.

APENDICE

Cuadro 1A. Resultados del análisis de suelo, precipitación mensual y temperatura promedio diaria para la descripción sistemática y estimación de parámetros genéticos. Estación Experimental "La Montaña". CATIE Turrialba, 1992.

Prof (cm)	PH H ₂ O	P mg/l	Ca Mg K			Acd. Ext.	Cu Zn Mn		
			meq/100 ml suelo				mg/l		
0 - 20	4,8	9,5	4,15	1,04	0,24	0,65	17,0	1,8	7,0

Precipitación Diciembre/ 1991 - Agosto/ 1992.

MES	Precipitación (mm) (mm)	Temperatura promedio (°C)
Diciembre	114,1	20,6
Enero	38,0	20,7
Febrero	42,1	21,5
Marzo	50,4	21,9
Abril	167,6	22,7
Mayo	219,4	22,7
Junio	202,9	23,4
Julio	241,1	22,4
Agosto	305,0	21,8

Cuadro 2A. Resultados del análisis de suelo, precipitación mensual y temperatura promedio diaria para el ensayo de estimación de parámetros genéticos. Finca Didáctica "EARTH", Guácimo, Limón. Costa Rica, 1992.

Prof (cm)	PH H ₂ O	P mg/l	Ca Mg K			Acd. Ext.	Cu Zn Mn		
			meq/100 ml suelo				mg/l		
0 - 20	4,4	3,1	4,12	2,5	0,16	1,0	9,4	3,9	84,0

Precipitación Diciembre/ 1991 - Agosto/ 1992.

MES	Precipitación (mm) (mm)	Temperatura promedio (°C)
Enero	155,3	23,2
Febrero	219,6	23,7
Marzo	171,3	24,2
Abril	317,5	24,8
Mayo	461,0	24,9
Junio	451,1	25,9
Julio	662,8	24,7

Cuadro 3A. Lista de caracteres utilizados en el estudio de jícama (*Pachyrhizus erosus*). CATIE, 1992.

CARACTERES DE LA FLOR

1. **NUMERO DE DIAS AL INICIO DE LA FLORACION**
Registra el inicio de la floración en 10 plantas de la parcela, expresados en número de días después de la siembra(DDS)
2. **DIAS A 50 % DE FLORACION**
Es el número de días después de la siembra, donde el 50 % de las plantas de la parcela se encuentran en floración.
3. **PERIODO DE FLORACION POR PARCELA**
Registra el tiempo en que la parcela de cada accesión mantiene plantas en floración.
 1. Muy corto (período menor de 20 días)
 3. Corto (período de 20-35 días)
 5. Intermedio (período de 36-50 días)
 7. Largo (período mayor de 50 días)
4. **PERIODO DE FLORACION POR PLANTA**
Registra el número de días promedio en que la planta permanece con flores abiertas. Se marcaron 10 plantas seleccionadas al azar por accesión.
5. **BOTONES FLORALES POR INFORESCENCIA**
 1. Muy escaso (10-20 botones)
 3. Escaso (21-30 botones)
 5. Moderado (31-40 botones)
 7. Profuso (mayor de 40 botones)Se clasifican las accesiones en base al promedio de 30 conteos de inflorescencias al azar.
6. **NUMERO MAXIMO DE BOTONES FLORALES POR INFLORESCENCIA**
Es el número promedio máximo de botones florales encontrados en 3 muestreos de 10 inflorescencias por accesión.
7. **COLOR DEL ESTANDARTE DE LA FLOR**
8. **COLOR DE ALAS**

9. COLOR DE QUILLAS

Se registraron en flores recién abiertas, de 6 a 8 am, utilizando la siguiente escala:

1. Crema -blanco amarilláceo-(1A2)
2. Violeta con veteado blanco(19B5)
3. Violeta (18D6)
4. Violeta grisáceo(18E7)
5. Violeta oscuro (18F7)

10. DECOLORACION DE LA FLOR

Indica la degradación del color en flores con más de 5 días después de la anthesis

- 0 Ausencia
- 1 Presencia

11. COLOR DE LOS SEPALOS

1. Verde amarilláceo
2. Verde
3. café claro
4. Café oscuro

12. PUBESCENCIA DE LOS SEPALOS

0. Ausente
1. Muy rala
3. rala
5. moderada
7. Densa
9. Muy densa

13. COLOR DEL PEDUNCULO IGUAL AL DE LOS SEPALOS

Registra si la pigmentación del pedúnculo de la flor es igual a la de los sépalos.

0. Ausencia
1. Presencia

14. LONGITUD DE LA FLOR (mm)

Medición desde la inserción de los sépalos con el pedúnculo hacia el ápice del estandarte. Promedio de 30 flores seleccionadas al azar por accesión.

15. ANCHO DEL ESTANDARTE (mm)

Promedio de 30 flores seleccionadas al azar por accesión.

16. NUMERO DE RAMAS POR PLANTA

Registra el número promedio de 15 plantas seleccionadas al azar por accesión.

17. NUMERO DE RAMAS CON INFLORESCENCIAS

Promedio de 15 plantas por accesión.

18. NUMERO DE INFLORESCENCIAS POR RAMA

Registra el promedio de 15 plantas por accesión.

19. LONGITUD DEL SEGMENTO CON BOTONES FLORALES DE LA INFLORESCENCIA

Promedio de 30 inflorescencias por accesión, (cm)

20. LONGITUD DEL RAQUIS DE LA INFLORESCENCIA

Promedio de 30 inflorescencias por accesión, (cm)

21. RELACION DE LA LONGITUD DEL SEGMENTO CON BOTONES FLORALES RESPECTO A LA LONGITUD TOTAL DE LA INFLORESCENCIA

Promedio de 30 inflorescencias por accesión.

22. HABITO DE FLORACION POR PLANTA

- 0. Ausente
- 1. Muy escaso
- 3. Escaso
- 5. Moderado
- 7. Profuso
- 9. Muy profuso

CARACTERES DEL TALLO**1. HABITO DE CRECIMIENTO**

Indica el hábito de crecimiento registrado en el período de llenado de las vainas

- 3. Compacto arbustivo
- 5. semi-compacto
- 7. Disperso
- 9. Muy disperso

2. PATRON DE CRECIMIENTO

- 1. Determinado
- 2. Indeterminado

3. VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DEL TALLO PRINCIPAL

Registra la longitud promedio alcanzado por el tallo principal al los 70 días después de la siembra. El promedio de 30 observaciones por accesión se registró en la siguiente escala:

- 1. Muy lento (menor de 20 cm)
- 3. Lento (21-30 cm)
- 5. Intermedio (31-40 cm)
- 7. Rápido (41-50 cm)
- 9. muy rápido (mayor de 50 cm)

4. **LONGITUD DEL ENTRENUDO**
Medido en nudos de la parte central del tallo principal, cuyo promedio se registró con base en la siguiente escala:
 1. Corto (menor de 6 cm)
 3. Intermedio (6-8 cm)
 5. Largo (8-10 cm)
 7. Muy largo (mayor de 10 cm)

5. **DIAMETRO DEL ENTRENUDO**
Medido en nudos centrales de la rama más larga. Promedio de 15 plantas seleccionadas al azar por accesión.

6. **COLOR DEL TALLO**
Registrado durante el período de floración.
 3. Verde claro
 5. verde
 7. verde oscuro
 9. azul oscuro

7. **PUBESCENCIA DEL TALLO**
Registrado en el ápice de los tallos durante el período de floración.
 0. Ausente
 1. Ralo
 3. Moderado
 5. Denso
 7. Muy denso

8. **LONGITUD DEL TALLO PRINCIPAL**
Promedio del tallo más largo en cm al momento de la cosecha de los tubérculos. 30 plantas por accesión.

9. **NUMERO DE NUDOS DEL TALLO PRINCIPAL**
Registra el promedio de 30 plantas por accesión, al momento de la cosecha de las raíces tuberosas.

CARACTERES DE LA HOJA

1. **TIPO DE LOBULOS EN EL FOLIOLO CENTRAL**
 0. Ausente
 1. Muy superficiales
 3. Superficiales
 5. Moderados
 7. Profundos
 9. muy profundos

2. **FORMA DEL LOBULO CENTRAL DEL FOLIOLO PRINCIPAL**
 0. Ausente
 1. Dientes amplios
 3. Lanceolado
 5. Semi-oblancheolado
 7. Oblancheolado
 9. Lineal
3. **LONGITUD DEL FOLIOLO PRINCIPAL**
4. **ANCHO DEL FOLIOLO PRINCIPAL**
5. **RELACION ANCHO/LARGO DEL FOLIOLO PRINCIPAL**

Promedio de 30 hojas maduras seleccionadas al azar dentro de las plantas de cada accesión.
6. **PUBESCENCIA DE LA BASE DEL FOLIOLO**
 0. Ausente
 1. Ralo
 3. Moderado
 5. Denso
 7. Muy denso
7. **COLOR DE HOJA MADURA**
 3. Verde claro
 5. Verde
 7. Verde oscuro
8. **LONGITUD DEL PECIOLO DE LA HOJA**
9. **COLOR DE LAS ESPICULAS EN HOJAS MADURAS**
 3. Verde claro
 5. Verde
 7. Verde oscuro
10. **NUMERO DE HOJAS POR PLANTA**

Promedio de 30 plantas seleccionadas al azar al momento de la cosecha de tubérculos.

CARACTERES DEL TUBERCULO DE LA RAIZ TUBEROSA

Los descriptores cuantitativos están expresados como el promedio de 30 raíces por accesión, cuyas plantas típicas se seleccionaron al azar al momento de la cosecha.

1. DIAMETRO DE TUBERCULO (cm)
2. LONGITUD DE LA RAIZ TUBEROSA (cm)
3. RELACION DIAMETRO/LARGO DE LA RAIZ
4. COLOR DE LA PERIDERMIS
Color de la película suberosa de una raíz lavada y seca.
 1. Amarillo pajizo
 2. Café claro
 3. Café oscuro
5. COLOR DE LA CORTEZA
Registra el color de la cáscara al retirar la peridermis.
 1. Blanco
 2. Crema
 3. Amarilla
6. DEFECTOS DE LA SUPERFICIE DE LA RAIZ
 0. Ausente
 1. Constricciones superficiales
 2. Constricciones profundas
 3. Hendiduras superficiales
 4. Hendiduras profundas
 5. Constricciones y hendiduras superficiales
 7. Constricciones y hendiduras profundas
7. GROSOR DE LA CORTEZA
Promedio de 15 tubérculos por accesión.
8. FORMA DE LA RAIZ TUBEROSA
 1. Esférica
 2. Lobulada
 3. Globulada -trompo
 4. Cilíndrica
 5. Redonda-achatada
 6. Doble -gemelas
 7. Múltiple
 8. Irregular
 9. Alargada irregular
9. FACILIDAD DE COSECHA DE RAICES
Registra la facilidad con la que se extrae la raíz del suelo, al momento de la cosecha manual.
 1. Fácil
 2. Intermedio
 3. Difícil

10. DUREZA DE LA PULPA

1. Muy suave
3. Suave
5. Dura
7. Muy dura

11. RENDIMIENTO DE RAICES

Registra el rendimiento de raíces, ajustado por el número de plantas cosechadas y el área de la parcela. Se expresa en Kg/ha.

12. PESO DE RAIZ POR PLANTA

Registra el peso promedio en g, de 30 raíces, cuyas plantas se seleccionan al azar.

13. PORCENTAJE DE RAICES GRANDES (mayores de 1000g)

El porcentaje de estas raíces se registró con base en la siguiente escala:

0. Ausente (0 %)
1. Muy bajo (Menos del 25 %)
3. Bajo (25-50 %)
5. Intermedio (51-75 %)
7. Alto (más del 75 %)

14. PORCENTAJE DE RAICES MEDIANAS (500-1000 g)

El porcentaje de estas raíces se registró con base en la siguiente escala:

0. Ausente (0 %)
1. Muy bajo (Menos del 25 %)
3. Bajo (25-50 %)
5. Intermedio (51-75 %)
7. Alto (más del 75 %)

15. PORCENTAJE DE TUBERCULOS PEQUEÑOS (menores de 500 g)

El porcentaje de estas raíces se registró con base en la siguiente escala:

0. Ausente (0 %)
1. Muy bajo (Menos del 25 %)
3. Bajo (25-50 %)
5. Intermedio (51-75 %)
7. Alto (más del 75 %)

16. AGRIETAMIENTO DE RAICES

Registra la proporción de raíces con agrietamiento notable.

17. DAÑO DE INSECTOS BARRENADORES

Registra la proporción de raíces con perforaciones notables provocadas por insectos barrenadores.

18. GRADOS BRIX

Expresa la cantidad de azúcares reductores en la pulpa como índice del sabor.

19. PORCENTAJE DE MATERIA SECA DE DE LAS RAICES

Registra el promedio de 3 muestras de las raíces, que se fraccionaron y sometieron a secado en horno con 65°C durante 8 días. Las diferencias entre peso fresco y peso seco corresponden a la materia seca. El promedio está expresado con base en la siguiente escala:

1. Muy bajo (menor de 6%)
3. Bajo (6-8%)
5. Intermedio (8-10%)
7. Alto (10-13%)
9. Muy alto (mayor de 14%)

20. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE RAICES

Registra el promedio de materia seca en Kg/ha, según el peso fresco y el porcentaje de materia seca para cada accesión.

CARACTERES DE LA VAINA**1. PUBESCENCIA DE VAINA INMADURA**

0. Ausente
1. Muy rala
3. Rala
5. Moderada
7. Densa
9. Muy densa

2. COLOR DE VAINA INMADURA

1. Verde claro
3. Verde
5. Verde profundo
7. Otro

3. COLOR DE VAINA EN SU MADUREZ FISIOLÓGICA

1. Pajizo
2. Café-claro
3. Café
4. Negro
5. Otro

4. **CURVATURA DE LA VAINA**
 1. Recta
 3. Ligeramente curvada
 5. Medianamente curvada
 7. La mayor parte curvada

5. **INTENSIDAD DE LA CONSTRICCIÓN DE LA VAINA**
 3. Superficial
 5. Intermedia
 7. Profunda

6. **DEHISCENCIA DE LA VAINA MADURA**

Describe la abertura de vainas en el campo al momento de su madurez.

 0. Ausencia
 1. Presencia

7. **PORCENTAJE DE PLANTAS FERTILES**

Registra la proporción de plantas con vainas respecto al total de la parcela, al momento de la madurez. El porcentaje se clasificó según la escala siguiente:

 1. Muy bajo (menos del 10 % de plantas con vainas)
 3. Bajo (de 10-50 %)
 5. Intermedio (50-75 %)
 7. Alto (75-95 %)
 - 9 Muy alto (95-100)

8. **LONGITUD DE LA VAINA (mm)**

9. **ANCHO DE LA VAINA (mm)**

10. **RELACION ANCHO/LONGITUD DE LA VAINA**

Promedio de 30 vainas maduras por accesión.

11. **NUMERO MAXIMO DE VAINAS POR PLANTA**

Máxima cantidad de vainas registradas en tres muestreos de diez plantas seleccionadas al azar por accesión, al momento de su madurez.

12. **NUMERO DE LOCULOS POR VAINA**

Promedio de 30 vainas por accesión.

13. **DIAS A LA MADUREZ FISIOLÓGICA DE LAS VAINAS**

Registra el número de días promedio después de la siembra donde las vainas de la parcela adquieren el color amarillo-café de su madurez.

 1. Precoz (menos de 180 días)
 3. Intermedio (180-190 días)
 5. Tardío (191-200 días)
 7. Muy tardío (mayor de 200 días)

CARACTERES DE LA SEMILLA**1. COLOR DE LA SEMILLA**

Registrar el color en semillas con un contenido de humedad de 12-14 % , según el libro de colores Muthen.

1. Café amarilláceo (pajizo, 5D6)
2. Café claro (Tan o canela, 6D7)
3. Café oscuro (6F8)
4. Café rojizo (10F8)

2. BRILLO DE LA SEMILLA

3. Opaco
5. Intermedio
7. Brillante

3. FORMA DE LA SEMILLA

1. Aplanada
2. Dentada
3. Redondeada
4. Cilíndrica

4. TAMAÑO DE LA SEMILLA

3. Pequeña
5. Intermedia
7. Grande

5. LONGITUD DE SEMILLA (mm)

Promedio de 15 semillas al azar, cuya medición se realizó paralela al hilum.

6. ANCHO DE SEMILLA(mm)

Promedio de 15 semillas al azar por accesión.

7. RELACION ANCHO/LONGITUD DE SEMILLA**8. GROSOR DE LA SEMILLA (mm)****9. PESO DE 100 SEMILLAS (g)**

Registra el peso de 100 semillas al azar, ajustado por su contenido de humedad y expresado en gramos al 14 % de humedad.

10. NUMERO DE SEMILLAS POR VAINA

Promedio de 30 vainas por accesión.

11. RENDIMIENTO DE SEMILLA POR PLANTA FERTIL

Registra el promedio de rendimiento en g ,de semillas al 14 % de humedad proveniente de 15 observaciones por accesión.

12. RENDIMIENTO DE SEMILLA (Kg/ha)

Registra el rendimiento en Kg/ha, ajustado por el número de plantas cosechadas, el área, peso de 100 semillas al 14 % de humedad y el porcentaje de fertilidad de las plantas, por accesión.

13. PORCENTAJE DE PROTEINA CRUDA EN BASE SECA

Registra el promedio de tres muestras por accesión analizadas en el laboratorio por el método de Kjeldhal.

Cuadro 4A. Accesiones del agrupamiento 1 y sus estados para los caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre accesiones de *P. erosus*. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUALITATIVOS													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
EC-531	A	3	4	2	1	3	4	1	1	3	4	1	1	5	1*
EC-214-CAFE	A	5	4	2	3	1	3	3	1	3	3	3	1	5	1
EC-503	A	3	4	5	5	1	4	1	1	1	4	1	1	5	3
EC-539	A	5	4	5	1	1	4	3	1	3	3	3	1	5	1
EC-538	A	5	4	5	1	1	4	1	3	1	4	1	3	5	1
EC-537	A	5	4	2	1	5	1	2	1	1	2	1	1	7	3
EC-540	B	5	4	2	3	3	3	4	3	3	4	1	3	1	1
EC-536	B	7	4	2	1	3	4	4	1	3	4	1	1	5	1
EC-541	B	7	3	2	0	1	3	3	1	1	3	1	1	5	1
EC-557	B	5	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	7	1
EC-502	B	7	3	2	0	3	3	3	1	3	3	1	1	3	1
EC-550	B	5	3	5	0	3	0	3	3	3	3	3	1	3	1
EC-201	B	5	3	5	0	1	0	3	1	1	3	1	1	5	1

* Codificación asignada a cada estado del carácter que se detalla en el Cuadro 3A

- 1 = Porcentaje de raíces medianas (500-100g)
- 2 = Color del estandarte de la flor
- 3 = Forma de la raíz tuberosa
- 4 = Pubescencia del tallo
- 5 = Defectos de la superficie de la raíz
- 6 = Color de la vaina a la madurez fisiológica
- 7 = Velocidad de crecimiento del tallo principal
- 8 = Forma del lóbulo central del foliolo principal de la hoja
- 9 = Pubescencia de los sépalos
- 10 = Número de botones florales por inflorescencia

Cuadro 5A. Accesiones del agrupamiento 2 y sus estados para los caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre accesiones de *P. erosus*. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUALITATIVOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EC-041	A	3	2	3	1	1	3	1	7	5	7
EC-120A-ROJO	A	5	1	2	3	5	4	7	7	1	3
EC-556	A	3	2	2	5	3	2	7	7	7	3
EC-040	A	5	2	3	1	4	3	3	7	5	3
EC-214-ROJO	B	1	1	5	3	5	4	3	1	0	3
EC-234-ROJO	B	3	1	2	0	3	3	3	1	1	3
EC-533	B	5	2	2	1	4	3	3	3	3	1
EC-120A-CAFE	B	5	3	5	1	3	1	3	3	5	3
EC-092	C	3	2	2	7	3	3	3	1	5	1
EC-234-CAFE	C	5	4	2	3	1	3	3	1	7	3
EC-523	C	5	3	2	0	4	3	5	1	5	5
EC-532	C	3	3	2	3	3	4	3	1	5	3
EC-510	C	3	4	2	3	3	3	5	1	3	3
EC-560	C	7	3	5	3	1	4	3	1	7	5
EC-511	C	5	4	2	1	4	3	1	1	5	5

1 = Porcentaje de raíces medianas (500-1000g)

2 = Color del estandarte de la flor

3 = Forma de la raíz tuberosa

4 = Pubescencia del tallo

5 = Defectos de la superficie de la raíz

6 = Color de la vaina a la madurez fisiológica

7 = Velocidad de crecimiento del tallo principal

8 = Forma del lóbulo central del foliolo principal de la hoja

9 = Pubescencia de los sépalos

10 = Número de botones florales por inflorescencia

Cuadro 6A. Accesiones del agrupamiento 3 y sus estados para los caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre accesiones de P. erosus. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUALITATIVOS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
EC-509	A	1	3	5	1	3	3	1	1	3	3	3
EC-117	A	1	3	2	1	1	4	5	1	5	5	5
EW-228	A	0	3	3	5	1	3	3	1	7	7	7
EW-227	A	1	3	5	5	1	4	3	1	3	5	5
EW-223	A	3	3	3	5	5	3	3	1	5	5	5
EC-006	A	7	4	5	1	0	3	7	3	5	5	3
EC-534	B	0	5	1	0	1	3	3	3	5	5	5
EC-535	B	0	5	1	0	1	4	3	3	5	5	5
EC-542	B	1	5	6	0	1	3	3	3	5	5	5
EC-120-B	C	0	3	8	7	5	4	3	3	5	7	7
EW-522	C	0	2	3	5	1	4	9	3	5	7	7
EC-104	C	3	2	2	5	3	2	3	1	3	3	3

1 = Porcentaje de raíces medianas (500-1000g)

2 = Color del estandarte de la flor

3 = Forma de la raíz tuberosa

4 = Pubescencia del tallo

5 = Defectos de la superficie de la raíz.

6 = Color de la vaina a la madurez fisiológica

7 = Velocidad de crecimiento del tallo principal

8 = Forma del lóbulo central del foliolo principal de la hoja

9 = Pubescencia de los sépalos

10 = Número de botones florales por inflorescencia

Cuadro 7A. Accesiones del agrupamiento 1 y el valor promedio para los caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre accesiones de P. erosus. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUANTITATIVOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EC-531	A	32±5	26±6	1871±301	12,5±1,4	7,3±1,5	94±2	4,97±0,3	9,07±0,7	1,30±0,10	24086±198
EC-214 CAF	A	54±5	30±4	1659±206	12,6±1,6	8,2±1,4	84±3	5,93±0,4	8,87±0,7	1,39±0,13	24185±4300
EC-503	A	42±5	32±5	1191±388	13,3±1,6	6,6±0,7	84±3	5,50±0,5	8,67±0,6	1,32±0,14	21321±3000
EC-539	A	20±5	27±6	2126±181	12,2±1,3	8,5±1,3	89±4	6,63±0,5	9,33±0,8	1,37±0,14	28531±2518
EC-538	A	18±5	40±5	2782±111	11,7±1,2	8,2±1,1	90±3	5,70±0,6	9,47±0,8	1,34±0,10	26914±2222
EC-537	A	32±5	35±7	2262±270	12,9±1,7	8,2±1,3	93±2	5,80±0,3	10,2±0,9	1,34±0,12	26914±3749
EC-540	B	25±6	27±4	2154±509	10,9±1,0	7,5±1,6	88±4	4,83±0,4	9,67±0,7	1,31±0,10	27716±8208
EC-536	B	18±5	25±4	2188±328	11,6±1,5	7,5±1,0	90±4	5,77±0,7	9,40±0,6	1,28±0,11	30506±1120
EC-541	B	13±5	25±5	2678±439	11,2±1,1	7,4±1,3	93±2	4,43±0,2	9,00±0,8	1,33±0,10	29407±1962
EC-557	B	13±4	25±4	2428±425	11,1±1,2	7,5±1,3	90±3	5,20±0,7	9,33±0,5	1,34±0,14	29568±2478
EC-502	B	19±5	43±5	2093±415	11,8±1,8	8,6±1,4	96±2	4,73±0,6	9,53±0,8	1,26±0,15	31272±3528
EC-550	B	15±5	20±4	2591±164	12,2±1,3	8,7±1,7	88±5	5,50±0,9	9,87±0,6	1,33±0,09	34025±2081
EC-201	B	18±5	25±4	2731±602	12,7±1,5	7,9±0,8	86±3	4,83±0,6	9,73±0,9	1,32±0,08	36284±2321

- 1 = Número máximo de vainas por planta
 2 = Número máximo de botones florales por inflorescencia
 3 = Rendimiento de materia seca de raíces (kg/ha)
 4 = Ancho del foliolo principal de la hoja (cm)
 5 = Longitud de la raíz (cm)
 6 = Número de días al inicio de la floración
 7 = Porcentaje de proteína cruda en base seca de la raíz
 8 = Longitud de la semilla (mm)
 9 = Relación ancho/largo del foliolo principal de la hoja
 10 = Rendimiento en fresco de raíces (Kg/ha)

Cuadro 8A. Accesiones del agrupamiento 2 y el valor promedio para los caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre accesiones de *P. erosus*. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUANTITATIVOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EC-041	A	38±5	60±6	2085±228	12,4±1,1	12,9±2,3	90±4	7,90±1,5	7,87±0,7	1,37±0,14	22808±2406
EC-120A-R	A	47±6	65±6	3244±530	12,2±1,8	8,2±1,3	94±3	4,93±0,6	8,13±0,7	1,95±0,09	37759±1889
EC-556	A	24±4	45±5	3919±196	13,1±0,7	9,9±0,8	94±5	5,90±0,6	7,50±0,5	1,41±0,09	35889±4013
EC-040	A	16±3	45±5	3987±225	11,5±1,0	10,8±1,2	95±2	6,00±0,8	8,20±0,5	1,28±0,15	40777±3640
EC-214-R	B	40±5	36±6	901±220	13,3±1,3	6,6±1,0	88±4	7,77±1,5	8,33±0,6	1,46±0,13	18838±2976
EC-234-R	B	29±5	48±5	1589±142	10,4±1,3	6,4±0,6	82±2	8,60±0,9	8,42±1,0	1,36±0,13	25111±1064
EC-533	B	20±5	30±4	2171±416	10,0±1,2	7,2±0,9	83±3	7,23±1,2	8,60±0,8	1,32±0,08	28529±2010
EC-120A-C	B	13±5	35±4	3793±233	13,4±0,9	7,5±0,5	84±4	5,60±0,7	8,80±0,7	1,49±1,00	33333±2850
EC-032	C	42±5	35±7	1917±159	11,5±1,6	8,2±1,7	89±3	6,77±0,8	8,53±0,8	1,26±0,10	27753±2730
EC-234-C	C	26±7	41±6	2831±564	11,9±1,5	8,3±1,3	92±3	6,79±0,7	9,33±0,8	1,30±0,12	34556±6007
EC-523	C	31±5	60±6	2936±543	11,2±1,5	7,5±1,1	90±4	6,17±0,6	8,73±0,7	1,30±0,10	32765±2951
EC-532	C	46±6	35±5	2942±230	11,8±1,8	8,4±1,5	89±4	5,53±0,6	8,47±0,9	1,32±0,14	34160±2070
EC-510	C	55±7	37±5	3471±848	12,0±1,3	8,5±1,6	92±4	5,97±0,7	9,40±0,7	1,25±0,09	34037±5273
EC-560	C	22±5	41±5	2288±133	14,2±1,7	7,9±0,9	97±2	7,33±1,0	9,40±0,9	1,27±0,11	29670±1068
EC-511	C	32±5	64±6	3647±460	12,0±1,3	8,0±1,3	83±3	6,20±0,9	9,27±0,6	1,30±0,12	38654±4010

1 = Número máximo de vainas por planta

2 = Número máximo de botones florales por inflorescencia

3 = Rendimiento de materia seca de raíces (Kg/ha)

4 = Ancho del foliolo principal de la hoja (cm)

5 = Largo de la raíz (cm)

6 = Número de días al inicio de la floración

7 = Porcentaje de proteína cruda en base seca de la raíz

8 = Longitud de la semilla (mm)

9 = Relación ancho/largo del foliolo principal de la hoja

10 = Rendimiento en fresco de raíces (Kg/ha)

Cuadro 9A. Accesiones del agrupamiento 3 y el valor promedio para los caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre accesiones de *P. grossus*. CATIE, 1992.

ACCESION	CARACTERES CUANTITATIVOS										
	SUB GRUPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EC-509	A	45±6	41±6	727±200	10,2±1,5	7,9±1,6	76±3	5,40±0,7	8,00±0,5	1,25±0,09	15079±3730
EC-117	A	52±5	53±4	1585354	11,7±0,9	9,1±2,8	77±3	5,23±0,4	8,20±0,8	1,27±0,10	17393±4038
EW-228	A	62±5	73±6	1168±74	10,5±1,5	8,5±1,5	84±2	6,17±0,8	8,07±0,7	1,17±0,15	8432±642
EW-227	A	52±6	47±5	2172±286	10,7±1,3	8,7±1,3	84±4	5,17±0,7	8,07±0,5	1,24±0,12	16642±1857
EW-229	A	33±5	50±6	2665±105	9,5±1,2	11,8±2,5	88±4	4,50±0,9	8,40±0,9	1,30±0,09	19198±2594
EC-006	A	21±3	42±4	3083±231	11,6±1,1	10,6±1,0	75±3	5,40±0,7	9,70±0,8	1,20±0,04	31888±3781
EC-534	B	26±4	76±8	1296±203	13,2±1,6	5,6±0,7	78±3	5,50±0,7	8,50±0,5	1,32±0,23	11000±1063
EC-535	B	31±4	65±6	935±134	14,0±0,8	5,7±0,7	77±3	6,30±0,6	9,30±0,5	1,40±0,12	8222±756
EC-542	B	24±4	47±5	1468±169	13,8±0,8	6,6±0,6	80±3	5,40±0,5	9,50±0,5	1,36±0,07	11778±2312
EC-1208	C	66±6	70±6	833±10	11,8±1,3	16,7±3,0	87±4	6,00±0,9	8,40±0,7	1,30±0,09	7667±1035
EW-522	C	82±10	57±5	585±58	11,8±0,9	10,0±1,3	80±3	8,70±0,9	8,28±0,5	1,22±0,91	5444±498
EC-104	C	75±5	48±5	1839±588	11,7±1,7	10,1±2,0	84±3	5,10±0,6	8,33±0,6	1,26±0,08	19901±4651

1 = Número máximo de vainas por planta

2 = Número máximo de botones florales por inflorescencia

3 = Rendimiento de materia seca de raíces (Kg/ha)

4 = Ancho del foliolo principal de la hoja (cm)

5 = Largo de la raíz (cm)

6 = Número de días al inicio de la floración

7 = Porcentaje de proteína cruda en base seca de la raíz

8 = Longitud de la semilla (mm)

9 = Relación ancho/largo del foliolo principal de la hoja

10 = Rendimiento en fresco de raíces (Kg/ha)

Cuadro 10A. Accesiones del agrupamiento 1 y el registro de sus estados para los caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre los grupos. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUALITATIVOS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
EC-531	A	5	1	7	3	3	5	4	3	5	3	5	2	1*
EC-214-C	A	5	1	7	5	3	3	4	3	5	5	2	2	
EC-503	A	5	3	9	3	3	5	4	5	5	5	5	1	
EC-539	A	5	1	7	5	3	3	4	3	3	7	5	1	
EC-538	A	3	1	5	7	3	1	4	5	5	7	5	2	
EC-537	A	1	3	3	7	3	1	4	5	5	7	2	1	
EC-540	B	3	1	3	5	1	3	4	5	3	7	2	1	
EC-536	B	1	1	3	7	1	0	4	3	3	7	2	1	
EC-541	B	1	1	3	7	1	1	3	5	3	1	5	1	
EC-557	B	3	1	3	7	1	1	3	3	3	7	2	1	
EC-502	B	3	1	5	7	1	1	3	3	3	1	7	1	
EC-550	B	3	1	3	7	1	0	3	3	3	7	5	1	
EC-201	B	1	1	3	7	1	0	3	3	3	7	5	1	

* Codificación asignada a cada estado del carácter, según Cuadro 3A

- 1 = Hábito de floración
- 2 = Número de botones florales por inflorescencia
- 3 = Porcentaje de plantas florales fértiles
- 4 = Porcentaje de raíces medianas
- 5 = Dureza de la pulpa de la raíz
- 6 = Porcentaje de raíces pequeñas
- 7 = Color del estandarte de la flor
- 8 = Porcentaje de materia seca de raíces
- 9 = Hábito de crecimiento
- 10 = Período de floración por parcela
- 11 = Tamaño de la semilla
- 12 = Forma de la raíz tuberosa
- 13 = Color de la semilla

Cuadro 11A. Accesiones del agrupamiento 2 y el registro de sus estados para los caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre los grupos. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUALITATIVOS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
EC-041	A	5	7	7	3	3	5	2	5	5	5	3	3	2 *
EC-120A-R	A	5	3	7	5	5	1	1	5	7	5	3	2	4
EC-556	A	3	3	7	5	3	3	2	7	7	5	5	2	2
EC-040	A	3	3	7	5	3	0	2	5	5	5	3	3	3
EC-214-R	B	7	3	7	1	5	7	1	1	7	5	5	5	4
EC-234-R	B	5	3	9	1	3	5	1	3	5	5	3	2	4
EC-553	B	3	1	5	5	1	3	2	3	5	5	5	2	2
EC-120A-C	B	3	3	5	5	3	3	3	7	5	5	5	5	1
EC-032	C	5	1	7	3	3	3	2	3	7	5	5	2	2
EC-234-C	C	5	3	7	5	5	1	4	3	5	3	5	2	1
EC-523	C	3	5	5	7	3	0	3	5	3	3	5	2	1
EC-532	C	5	3	5	7	3	0	3	5	5	3	5	2	1
EC-510	C	3	3	5	5	5	0	4	7	5	3	5	2	2
EC-560	C	5	5	7	7	3	0	3	5	5	7	5	5	2
EC-511	C	5	5	5	7	5	0	4	7	5	5	5	2	1

* Codificación asignada a cada estado del carácter, según el cuadro 3A

- 1 = Hábito de floración
- 2 = No. botones florales por inflorescencia
- 3 = Porcentaje de plantas fértiles
- 4 = Dureza de raíces medianas
- 5 = Porcentaje de pulpa de la raíz
- 6 = Porcentaje de raíces pequeñas
- 7 = Color del estandarte de la flor
- 8 = Porcentaje de materia seca de raíces
- 9 = Hábito de crecimiento
- 10 = Período de floración
- 11 = Tamaño de la semilla
- 12 = Forma de la raíz tuberosa
- 13 = Color de la semilla

Cuadro 12A. Accesiones del agrupamiento 3 y el registro de sus estados para los caracteres cualitativos de mayor valor discriminante entre los grupos. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUALITATIVOS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
EC-509	A	7	3	9	0	5	7	3	1	5	5	5	5	3 *
EC-117	A	7	5	9	3	3	5	3	5	7	5	5	2	2
EW-228	A	9	7	9	0	5	7	3	7	7	5	3	3	2
EW-227	A	7	5	9	1	5	7	3	7	5	5	3	5	2
EW-223	A	5	5	5	3	7	5	3	7	5	5	3	3	2
EC-006	A	5	3	7	5	3	0	4	7	7	5	7	5	1
EC-534	B	7	5	7	0	5	7	5	7	3	3	5	1	1
EC-535	B	9	5	9	0	5	7	5	5	5	5	7	1	1
EC-542	B	9	5	9	1	7	7	5	7	5	3	7	6	1
EC-120-B	C	9	7	9	0	3	7	3	7	9	7	5	0	3
EW-522	C	7	7	7	0	7	7	2	7	9	7	5	3	1
EC-104	C	7	3	9	3	5	5	2	7	7	7	3	2	3

* Codificación asignada a cada estado del carácter según el Cuadro 3A

- 1 = Hábito de floración
- 2 = No. botones florales por inflorescencia
- 3 = Porcentaje de plantas fértiles
- 4 = Dureza de raíces medianas
- 5 = Dureza de la pulpa de la raíz
- 6 = Porcentaje de raíces pequeñas
- 7 = Color del estandarte de la flor
- 8 = Porcentaje de materia seca de raíces
- 9 = Hábito de crecimiento
- 10 = Período de floración por parcela
- 11 = Tamaño de la semilla
- 12 = Forma de la raíz tuberosa
- 13 = Color de la semilla

Cuadro 19A. Accesiones del agrupamiento 1 y su promedio para los caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre grupos. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUANTITATIVOS					
		1	2	3	4	5	6
EC-531	A	11	26	3	2	2	13
EC-214-C	A	16	30	2	1	3	14
EC-503	A	16	32	2	2	3	14
EC-539	A	11	27	3	2	2	9
EC-538	A	12	40	2	2	2	12
EC-537	A	16	35	2	1	2	11
EC-540	B	12	27	2	2	2	11
EC-536	B	17	25	2	1	1	11
EC-541	B	12	25	2	1	1	10
EC-557	B	16	25	2	2	1	11
EC-502	B	9	43	2	2	2	11
EC-550	B	12	20	2	1	1	11
EC-201	B	13	25	3	1	2	13

- 1 = Período de floración por planta (días)
 2 = Número máximo de botones florales por inflorescencia
 3 = Número de ramas por planta
 4 = Número de ramas con inflorescencias
 5 = Número de inflorescencias por rama
 6 = Número de hojas por planta

Cuadro 14A. Accesiones del agrupamiento 2 y su promedio para los caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre grupos. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUANTITATIVOS					
		1	2	3	4	5	6
EC-041	A	21	60	4	3	3	23
EC-120A-R	A	30	65	4	3	3	22
EC-556	A	31	45	4	3	3	14
EC-040	A	29	45	5	2	2	27
EC-214-R	B	29	36	3	3	4	16
EC-234-R	B	23	48	3	3	2	17
EC-553	B	12	30	3	1	2	17
EC-120A-C	B	21	35	3	2	3	14
EC-032	C	18	35	3	2	3	27
EC-234-C	C	15	41	3	2	2	16
EC-523	C	24	60	3	2	2	19
EC-532	C	16	35	3	2	2	20
EC-510	C	16	37	3	2	2	22
EC-560	C	26	41	4	3	3	29
EC-511	C	22	64	4	2	3	25

- 1 = Período de floración por planta (días)
2 = Número máximo de botones florales por inflorescencia
3 = Número de ramas por planta
4 = Número de ramas con inflorescencias
5 = Número de inflorescencias por rama
6 = Número de hojas por planta

Cuadro 15A. Accesiones del agrupamiento 3 y su promedio para los caracteres cuantitativos de mayor valor discriminante entre grupos. CATIE, 1992.

ACCESION	SUB GRUPO	CARACTERES CUANTITATIVOS					
		1	2	3	4	5	6
EC-509	A	30	41	4	3	3	27
EC-117	A	41	53	4	3	3	19
EW-228	A	23	73	5	4	3	30
EW-227	A	26	47	4	3	3	24
EW-223	A	44	50	4	3	3	25
EC-006	A	33	42	5	4	3	26
EC-534	B	28	76	4	3	3	14
EC-535	B	34	65	4	4	3	15
EC-542	B	29	47	4	4	3	19
EC-120B	C	39	70	6	6	4	49
EW-522	C	62	57	5	5	2	38
EC-104	C	41	48	5	4	6	45

- 1 = Período de floración por planta (días)
 2 = Número máximo de botones florales por inflorescencia
 3 = Número de ramas por planta
 4 = Número de ramas con inflorescencias
 5 = Número de inflorescencias por rama
 6 = Número de hojas por planta

Cuadro 16A. Correlación fenotípica (r_F), genética (r_G), heredabilidad (H^2), varianzas y covarianza fenotípicas de los caracteres incluidos en los índices de selección para el peso de la raíz tuberosa. Turrialba, Costa Rica, 1992.

CARACTERES							
i * J	r_{Fij}	r_{Gij}	H^2_i	H^2_j	Var (x_i)	Var (x_j)	Cov ($x_i x_j$)
X1 * X2	0,53	0,97	0,55	0,36	50465,37	7,04	310,2
X1 * X3	0,25	0,47	0,55	0,65	50465,37	32,93	325,8
X1 * X4	-0,41	-0,70	0,55	0,63	50465,37	70,57	-788,3
X1 * X5	-0,37	-0,56	0,55	0,87	50465,37	112,37	-895,5
X2 * X3	0,14	0,39	0,36	0,65	7,04	32,93	-2,2
X2 * X4	-0,35	-0,76	0,36	0,63	7,04	70,57	-7,8
X2 * X5	-0,38	-0,69	0,36	0,87	7,04	112,37	-11,0
X3 * X4	-0,19	-0,34	0,65	0,63	32,93	70,57	-9,3
X3 * X5	-0,22	-0,30	0,65	0,87	32,93	112,37	-13,3
X4 * X5	0,55	0,74	0,63	0,87	70,57	112,37	49,7

X1 = Peso de la raíz
 X2 = Diámetro de la raíz
 X3 = Número de días al inicio de la floración
 X4 = Botones florales/infloroscencia
 X5 = Número de hojas

Cuadro 17A. Correlación fenotípica (rF), genética (rG), heredabilidad (H²), varianzas y covarianza fenotípicas de los caracteres incluidos en los índices de selección para el peso de la raíz tuberosa. Guácimo, Costa Rica, 1992.

CARACTERES						
i * j	rFij	rGij	H ² i	H ² j	Var (xi)	Var (xj) Cov (xixj)
X1 * X2	0,64	0,93	0,67	0,53	14044,02	5,86 184,5
X1 * X3	-0,26	-0,36	0,67	0,87	14044,02	2861,63 -1678,2
X1 * X4	-0,24	-0,36	0,67	0,76	14044,02	32,40 -164,0
X1 * X5	-0,21	-0,30	0,67	0,82	14044,02	16,11 -99,7
X1 * X6	-0,19	-0,30	0,67	0,70	14044,02	201,54 -327,9
X2 * X3	-0,38	-0,56	0,53	0,87	5,86	2861,63 -49,5
X2 * X4	-0,35	-0,57	0,53	0,76	5,86	32,40 -4,8
X2 * X5	-0,32	-0,49	0,53	0,82	5,86	16,11 -3,1
X2 * X6	-0,33	-0,56	0,53	0,70	5,86	201,54 -11,5
X3 * X4	0,76	0,94	0,87	0,76	2861,63	32,40 233,7
X3 * X5	0,91	0,98	0,87	0,82	2861,63	16,11 195,6
X3 * X6	0,74	0,90	0,87	0,70	2861,63	201,54 565,7
X4 * X5	0,74	0,96	0,76	0,82	32,40	16,11 17,0
X4 * X6	0,70	0,92	0,76	0,70	32,40	201,54 55,9
X5 * X6	0,72	0,88	0,82	0,70	16,11	201,54 41,0

X1 = Peso de la raíz

X2 = Diámetro de la raíz

X3 = Longitud del tallo principal

X4 = Número de días al inicio de la floración

X5 = Número de nudos del tallo principal

X6 = Número de hojas

Anexo 1. Procedimiento utilizado para la obtención de los índices de selección. CATIE, 1992.

VARIANZA DEL INDICE

La varianza puede plantearse como la varianza de la función lineal:

$$\sigma^2 I = E [(\sum \beta_i X_i)^2] = \beta^2_1 \sigma^2 x_1 + \beta^2_2 \sigma^2 x_2 + \dots + \beta^2_i \sigma^2 x_i + 2\beta_1\beta_2 \sigma x_1 x_2 + 2\beta_1\beta_3 \sigma x_1 x_3 + \dots + 2\beta_i\beta_j \sigma x_i x_j$$

Cuando β 's provienen de matrices estandarizadas

$$\sigma^2 x_i = 1 = \sigma x_i$$

$$(rf)_{ij} = \sigma x_i x_j / \sigma x_i \cdot \sigma x_j$$

$$\sigma x_i x_j = (rf)_{ij} * \sigma x_i \cdot \sigma x_j = (rf)_{ij}$$

$$\sigma^2 I = \beta^2_1 + \beta^2_2 + \dots + \beta^2_i + 2\beta_1\beta_2 \cdot (rf)_{1,2} + 2\beta_1\beta_3 \cdot (rf)_{1,3} + \dots + 2\beta_i\beta_j \cdot (rf)_{ij}$$

RESPUESTA CORRELACIONADA ESPERADA POR EL INDICE DE SELECCION

Es frecuente interesarse por la respuesta correlacionada esperada para una o más variables cuando se selecciona para un valor económico total. Para cualquier índice, la respuesta genética correlacionada para la característica j puede encontrarse por la regresión de G_j sobre I .

$$\Delta G_j = \mu_{G_j} + b_{G_j} \cdot (I - \mu_I) \quad \text{pero } \mu_{G_j} \text{ y } \mu_I = 0$$

$$\Delta G_j = \frac{[\text{Cov}(G_j, I)]}{\sigma^2 I} \cdot I$$

$$\text{si } I = \sigma I D$$

$$\Delta G_j = \frac{[\text{Cov}(G_j, I)] \sigma I D}{\sigma^2 I} = \frac{\text{Cov}(G_j, I) D}{\sigma^2 I}$$

Donde:

$$\text{Cov}(G_j, I) = \text{Cov}(G_j, \beta_1 X_1 + \dots + \beta_N X_N)$$

$$= \beta_1 \sigma_{G_j G_1} + \beta_2 \sigma_{G_j G_2} + \dots + \beta_N \sigma_{G_j G_N}$$

Para β de estandarización:

$$\Delta G^j = \frac{\text{Cov}(G^j, I)}{\sigma I} D$$

$$= \frac{[\beta'_{1rgj,1} \sqrt{h^2_j} \sqrt{h^2_1} + \beta'_{2rgj,2} \sqrt{h^2_j} \sqrt{h^2_2} + \dots + \beta'_{Nrgj,N} \sqrt{h^2_j} \sqrt{h^2_N}]}{\sigma I} D$$

Lo anterior se comprende si se considera :

$$(rg)_{j,1} = \sigma_{Gj, G_1} / \sigma_{Gj} \sigma_{G_1}$$

$$\sigma_{Gj, G_1} = [(rg)_{j,1}] \sigma_{Gj} \sigma_{G_1}$$

$$\text{si, } h = \sigma_{Gj} / \sigma_{xj}$$

$$\sigma_{Gj} = h \sigma_{xj}$$

$$\sigma_{xj} = 1 \text{ (estandar)}$$

$$\sigma_{Gj, G_1} = [(rg)_{j,1}] \sqrt{h^2_j} \cdot h^2_1$$

Para convertir la respuesta correlacionada estandarizada en unidades usuales se debe multiplicar por la desviación estandar de la característica en cuestión (j):

$$\Delta G_j = \sigma_{xj} G^j$$

1. Indices de selección en Turrialba

Con base en Van Vleck (1974), las matrices estandarizadas para la obtención de los factores ponderadores (β 's) se expresan de la forma general:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & 1 & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 H^2_1 \\ a_1 r_{g12} H_1 H_2 \\ a_1 r_{g13} H_1 H_3 \\ a_1 r_{g14} H_1 H_4 \\ a_1 r_{g15} H_1 H_5 \end{bmatrix}$$

Matriz de Correlaciones

vector β vector G

Con los valores del Cuadro 16A , se obtiene :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,53 & 0,25 & -0,41 & -0,37 \\ 0,53 & 1 & 0,14 & -0,35 & -0,38 \\ 0,25 & 0,14 & 1 & -0,19 & -0,22 \\ -0,41 & -0,35 & -0,19 & 1 & 0,55 \\ -0,37 & -0,38 & -0,22 & 0,55 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,43 \\ 0,28 \\ -0,41 \\ -0,387 \end{bmatrix}$$

INDICE 1

Utilizando únicamente x_1 = Peso de la raíz tuberosa

$$G_1 = a_1 G_1 \\ a_1 = 1$$

Ecuación normal :

$$\begin{aligned} \beta_1 \sigma^2 x_1 &= a_1 \sigma^2 G_1 \\ \beta_1 &= a_1 H^2_1 \\ \beta_1 &= 1 (0,55) \end{aligned} \quad I' = 0,55 X_1$$

Respuesta esperada en unidades normales:

$$\begin{aligned} \text{Cambio en } G_1 &= G'_1 * D \\ &= \sigma x_1 [\text{Cov} (G_1, I') / \sigma I'] D \\ &= \sigma x_1 [\beta_1 H \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma^2 I' &= \sigma^2 I \\ \sigma^2 I &= E [(\sum \beta_i x_i)^2] \\ \sigma^2 I &= \beta^2_1 \sigma^2 x_1 \text{ (ya que } \sigma^2 x_1 = 1 \text{ , por la estandarizacion)} \\ \sigma^2 I &= \beta^2_1 = (0,55)^2 \quad \text{Entonces } \sigma I = 0,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cambio en } G_1 &= \sigma x_1 [(\beta_1 H^2_1) / \sigma^2 I] D \\ &= 123,55 D \quad (\text{g de raíz tuberosa /planta}) \end{aligned}$$

$$\sigma^2 x_1 = 50465,37 \quad ; \quad \sigma x_1 = 224,64 \text{ g/planta.}$$

Considerando el espaciamiento entre plantas en la evaluación, el factor para convertir los g/planta a Kg/ha en la respuesta esperada, fue de 44,44

$$\text{Cambio en } G_1 = 123,55 * 44,44 = 5491 D \quad \text{kg/ha.}$$

D = es el diferencial de selección en unidades estandar

INDICE 2 .

X1 = Peso de la raíz tuberosa
 X2 = Diámetro de la raíz tuberosa

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,53 \\ 0,53 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,43 \end{bmatrix}$$

$$I' = 0,448 X_1 + 0,192 X_2$$

$$\sigma^2 I = 0,3287 \quad , \quad \sigma I = 0,5734$$

$$\begin{aligned} \text{Cambio en } G_1 &= \sigma x_1 [(\beta_1 H^2_1 + \beta_2 (r_g)_{12} H_1 H_2) / \sigma I] D \\ &= 128,87 D \quad (\text{g/planta}) \\ &= 128,87 * 44,44 \\ &= 5727 D \quad (\text{Kg/ha}) \end{aligned}$$

INDICE 3 :

X1 = Peso de la raíz tuberosa
 X2 = Diámetro de la raíz tuberosa
 X3 = Número días al inicio de la floración

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,53 & 0,25 \\ 0,53 & 1 & 0,14 \\ 0,25 & 0,14 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,43 \\ 0,28 \end{bmatrix}$$

$$\beta_1 = 0,411 \quad , \quad \beta_2 = 0,191 \quad , \quad \beta_3 = 0,150$$

$$I' = 0,411 X_1 + 0,191 X_2 + 0,150 X_3$$

$$\sigma^2 I = 0,3488$$

$$\sigma I = 0,5906$$

$$\begin{aligned} \text{Cambio en } G_1 &= \sigma x_1 [0,5929] D \\ &= 224,64 (0,5929) D \\ &= 133,20 D \quad (\text{g /planta}) \\ &= 133,20 * 44,44 = 5919 D \quad (\text{kg/ha}) \end{aligned}$$

INDICE 4 :

X1 = Peso de la raíz tuberosa
 X2 = Diámetro de la raíz tuberosa
 X3 = Número de días al inicio de la floración
 X4 = Botones florales por inflorescencia

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,53 & 0,25 & -0,41 \\ 0,53 & 1 & 0,14 & -0,35 \\ 0,25 & 0,14 & 1 & -0,19 \\ -0,41 & -0,35 & -0,19 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,43 \\ 0,28 \\ -0,41 \end{bmatrix}$$

$$\beta_1 = 0,358 \quad , \quad \beta_2 = 0,157 \quad , \quad \beta_3 = 0,134 \quad , \quad \beta_4 = -0,183$$

$$I' = 0,358 X1 + 0,157 X2 + 0,134 X3 - 0,183 X4$$

$$\sigma^2 I = 0,3768$$

$$\sigma I = 0,614$$

$$\begin{aligned} \text{Cambio en } G_1 &= \sigma x_1 [0,37696 / 0,614] D \\ &= 137,92 D \quad (\text{g /planta}) \\ &= 137,92 D * 44,44 \\ &= 6129 D \quad (\text{Kg/ha}) \end{aligned}$$

INDICE 5 :

X1 = Peso de la raíz tuberosa
 X2 = Diámetro de la raíz tuberosa
 X3 = Número de días al inicio de la floración
 X4 = Botones florales por inflorescencia
 X5 = Número de hojas

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,53 & 0,25 & -0,41 & -0,37 \\ 0,53 & 1 & 0,14 & -0,35 & -0,38 \\ 0,25 & 0,14 & 1 & -0,19 & -0,22 \\ -0,41 & -0,35 & -0,19 & 1 & 0,55 \\ -0,37 & -0,38 & -0,22 & 0,55 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,43 \\ 0,28 \\ -0,41 \\ -0,387 \end{bmatrix}$$

Solución:

$$\beta_1 = 0,351$$

$$\beta_2 = 0,140$$

$$\beta_3 = 0,124$$

$$\beta_4 = -0,138$$

$$\beta_5 = -0,101$$

$$I' = 0,351 X_1 + 0,140 X_2 + 0,124 X_3 - 0,138 X_4 - 0,101 X_5$$

$$\sigma^2 I = 0,3837$$

$$\sigma I = 0,6194$$

$$\text{Cambio en } G_1 = \sigma x_1 [0,3836 / 0,6194] D$$

$$= 224,64 [0,6194] D$$

$$= 139,14 D \quad (\text{g /planta})$$

$$= 6183 D \quad (\text{Kg /ha}).$$

Cambio en el Número de hojas/planta :

$$\text{Cambio en } G_5 = \sigma x_5 [\text{Cov}(G_5, I) / \sigma I] D$$

$$= 10,60 (-0,38135 / 0,6194) D$$

$$= - 6,53 D \quad (\text{hojas/planta})$$

Con una intensidad de selección del 5 % , $D= 2,06$

Cambio en $G_5 = -13,45$ hojas/ planta. Si el promedio de la población es de 19,5 , luego de la selección se espera que se reduzca a aproximadamente 7 hojas/planta.

INDICE RESTRINGIDO 6: (I^*)

X_1 = Peso de la raíz tuberosa

X_2 = Diámetro de la raíz tuberosa

X_3 = Número de días al inicio de la floración

X_4 = Botones florales por inflorescencia

X_5 = Número de hojas

$$I^* = \beta^*_1 X_1 + \beta^*_2 X_2 + \beta^*_3 X_3 + \beta^*_4 X_4 + \beta^*_5 X_5$$

RESTRICCIÓN :

$$\text{Cambio en } G_5 = 0$$

$$= \text{Cov}(G_5, I^*) = 0$$

$$= \beta^*_{10} X_1 G_5 + \beta^*_{20} X_2 G_5 + \beta^*_{30} X_3 G_5 + \beta^*_{40} X_4 G_5 + \beta^*_{50} X_5 G_5 = 0$$

Utilizando el multiplicador Lagrange las ecuaciones normales son:

$$\beta^*_{10} \sigma^2 X_1 + \beta^*_{20} \sigma X_1 X_2 + \beta^*_{30} \sigma X_1 X_3 + \beta^*_{40} \sigma X_1 X_4 + \beta^*_{50} \sigma X_1 X_5 + \wedge \sigma X_1 G_5 = \sigma X_1 G_1$$

$$\beta^*_{10} \sigma X_2 X_1 + \beta^*_{20} \sigma^2 X_2 + \beta^*_{30} \sigma X_2 X_3 + \beta^*_{40} \sigma X_2 X_4 + \beta^*_{50} \sigma X_2 X_5 + \wedge \sigma X_2 G_5 = \sigma X_2 G_1$$

$$\beta^*_{10} \sigma X_3 X_1 + \beta^*_{20} \sigma X_3 X_2 + \beta^*_{30} \sigma^2 X_3 + \beta^*_{40} \sigma X_3 X_4 + \beta^*_{50} \sigma X_3 X_5 + \wedge \sigma X_3 G_5 = \sigma X_3 G_1$$

$$\beta^*_{10} \sigma X_4 X_1 + \beta^*_{20} \sigma X_4 X_2 + \beta^*_{30} \sigma X_4 X_3 + \beta^*_{40} \sigma^2 X_4 + \beta^*_{50} \sigma X_4 X_5 + \wedge \sigma X_4 G_5 = \sigma X_4 G_1$$

$$\beta^*_{10} \sigma X_5 X_1 + \beta^*_{20} \sigma X_5 X_2 + \beta^*_{30} \sigma X_5 X_3 + \beta^*_{40} \sigma X_5 X_4 + \beta^*_{50} \sigma^2 X_5 + \wedge \sigma X_5 G_5 = \sigma X_5 G_1$$

$$\beta^*_{10} \sigma X_1 G_5 + \beta^*_{20} \sigma X_2 G_5 + \beta^*_{30} \sigma X_3 G_5 + \beta^*_{40} \sigma X_4 G_5 + \beta^*_{50} \sigma X_5 G_5 + 0 = 0$$

Los elementos de la mano derecha (RHM) estandarizados se expresan como:

$$\sigma X_1 G_5 = \text{Cov}(G_1 M_1, G_5) = \text{Cov}(G_1, G_5) + \text{Cov}(M_1, G_5)$$

$$= \text{Cov}(G_1 G_5) = (rg)_{1,5} \sigma G_1 \sigma G_5$$

$$= (rg)_{1,5} H_1 H_5 = -0,387$$

$$\sigma X_2 G_5 = (rg)_{2,5} H_2 H_5 = -0,386$$

$$\sigma X_3 G_5 = (rg)_{3,5} H_3 H_5 = -0,225$$

$$\sigma X_4 G_5 = (rg)_{4,5} H_4 H_5 = 0,548$$

$$\sigma X_5 G_5 = \sigma^2 G_5 = H^2_5 \sigma^2 X_5 = H^2_5 = 0,87$$

Mediante la estandarización se tiene :

1	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	$rg_{15} H_1 H_5$	β^*_{10}	$a_1 H^2_1$
r_{21}	1	r_{23}	r_{24}	r_{25}	$rg_{25} H_2 H_5$	β^*_{20}	$a_1 rg_{12} H_1 H_2$
r_{31}	r_{32}	1	r_{34}	r_{35}	$rg_{35} H_3 H_5$	β^*_{30}	$a_1 rg_{13} H_1 H_3$
r_{41}	r_{42}	r_{43}	1	r_{45}	$rg_{45} H_4 H_5$	β^*_{40}	$a_1 rg_{14} H_1 H_4$
r_{51}	r_{52}	r_{53}	r_{54}	1	H^2_5	β^*_{50}	$a_1 rg_{15} H_1 H_5$
$rg_{15} H_1 H_5$	$rg_{25} H_2 H_5$	$rg_{35} H_3 H_5$	$rg_{45} H_4 H_5$	H^2_5	0		0

El sistema a resolver es el siguiente:

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0,53 & 0,25 & -0,41 & -0,37 & -0,387 \\
 0,53 & 1 & 0,14 & -0,35 & -0,38 & -0,386 \\
 0,25 & 0,14 & 1 & -0,19 & -0,22 & -0,225 \\
 -0,41 & -0,35 & -0,19 & 1 & 0,55 & 0,548 \\
 -0,37 & -0,38 & -0,22 & 0,55 & 1 & 0,87 \\
 -0,387 & -0,386 & -0,225 & 0,548 & 0,87 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \beta^*_1 \\
 \beta^*_2 \\
 \beta^*_3 \\
 \beta^*_4 \\
 \beta^*_5
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 0,55 \\
 0,43 \\
 0,28 \\
 -0,41 \\
 -0,387 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

Solución:

$$\begin{aligned}
 \beta^*_1 &= 0,332 \\
 \beta^*_2 &= 0,124 \\
 \beta^*_3 &= 0,114 \\
 \beta^*_4 &= -0,098 \\
 \beta^*_5 &= 0,294
 \end{aligned}$$

$$I^* = 0,332 X_1 + 0,124 X_2 + 0,114 X_3 - 0,098 X_4 + 0,294 X_5$$

$$\sigma^2 I^* = 0,1942$$

$$\sigma I^* = 0,4407$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cambio en } G_1 &= \sigma x_1 [\text{cov}(G^*_1, I^*) / \sigma I^*] \text{ D} \\
 &= 224,64 [0,1969 / 0,4407] \text{ D} \\
 &= 100,41 \text{ D} \quad (\text{g /planta}) \\
 &= 100,41 * 44,44 = 4462 \text{ D} \quad (\text{Kg/ha})
 \end{aligned}$$

Cambio esperado en el número de hojas por planta:

$$\begin{aligned}
 \text{Cambio en } G_5 &= \sigma x_5 [\text{Cov}(G_5, I^*) / \sigma I^*] \text{ D} \\
 &= 10,60 [0,00000536 / 0,4407] \\
 &= 0 \quad (\text{hojas por planta})
 \end{aligned}$$

$$\sigma^2 x_5 = 112,37 \quad (\text{Cuadro 16A})$$

$$\sigma x_5 = 10,60 \quad \text{hojas/planta}$$

2. Indices de selección en Guácimo

Con base en la forma general estandarizada y los parámetros de los diferentes descriptores del Cuadro 17A, la matriz de correlaciones fenotípicas, vector β 's y vector G, son :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,64 & -0,26 & -0,24 & -0,21 & -0,19 \\ 0,64 & 1 & -0,38 & -0,30 & -0,32 & -0,33 \\ -0,26 & -0,38 & 1 & 0,76 & 0,91 & 0,74 \\ -0,24 & -0,35 & 0,76 & 1 & 0,74 & 0,70 \\ -0,21 & -0,32 & 0,91 & 0,74 & 1 & 0,72 \\ -0,19 & -0,33 & 0,74 & 0,70 & 0,72 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,67 \\ 0,554 \\ -0,275 \\ -0,257 \\ -0,222 \\ -0,205 \end{bmatrix}$$

INDICE 1:

X_1 = Peso de la raíz tuberosa

$G_1 = a_1 G_1$

$a_1 = a_1$

Ecuación:

$\beta_1 = a_1 H^2_1$

$\beta_1 = 0,67$

$I = 0,67 X_1$

$\sigma^2 I = \beta^2 = (0,67)^2 = 0,4489$

$\sigma I = 0,67$

Cambio esperado en $G_1 = \sigma x_1 [(\beta_1 H^2_1) / \sigma I] D$
 $= 118,50 (0,67) D$
 $= 79,39 D \quad (\text{g/planta})$
 $= 79,39 * 44,44$
 $= 3528 D \quad (\text{Kg/ha})$

INDICE 2:

X_1 = Peso de la raíz tuberosa

X_2 = Diámetro de la raíz tuberosa

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,64 \\ 0,64 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,67 \\ 0,554 \end{bmatrix}$$

$\beta_1 = 0,534$

$\beta_2 = 0,212$

$I = 0,534 X_1 + 0,212 X_2$

$$\begin{aligned}\sigma^2 I &= 0,4750 \\ \sigma I &= 0,6892\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cambio esperado en G1} &= \sigma x_1 [0,4752/0,6892] D \\ &= 118,5 * 0,6895 \\ &= 81,71 D \text{ (g/planta)} \\ &= 81,71 * 44,44 \\ &= 3631 D \text{ (Kg/ha)}\end{aligned}$$

INDICE 3 :

X1 = Peso de la raíz tuberosa
X2 = Diámetro de la raíz tuberosa
X3 = Longitud del tallo principal

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,64 & -0,26 \\ 0,64 & 1 & -0,38 \\ -0,26 & -0,38 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,67 \\ 0,554 \\ -0,275 \end{bmatrix}$$

Solución:

$$\beta_1 = 0,532 \text{ , } \beta_2 = 0,188 \text{ , } \beta_3 = -0,065$$

$$I = 0,532 X_1 + 0,188 X_2 - 0,065 X_3$$

$$\begin{aligned}\sigma^2 I &= 0,4686 \\ \sigma I &= 0,6845\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cambio esperado en G1} &= \sigma x_1 [0,4784 / 0,6845] D \\ &= 118,50 [0,6990] D \\ &= 82,83 D \text{ (g/planta)} \\ &= 82,83 * 44,44 \\ &= 3681 D \text{ (Kg/ha)}\end{aligned}$$

INDICE 4 :

X1 = Peso de la raíz tuberosa
X2 = Diámetro de la raíz tuberosa
X3 = Longitud del tallo principal
X4 = Número de días al inicio de la floración

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,64 & -0,26 & -0,24 \\ 0,64 & 1 & -0,38 & -0,35 \\ -0,26 & -0,38 & 1 & 0,76 \\ -0,24 & -0,35 & 0,76 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,67 \\ 0,554 \\ -0,275 \\ -0,257 \end{bmatrix}$$

Solución:

$$\beta_1 = 0,532 \quad \beta_2 = 0,186 \quad \beta_3 = -0,041 \quad \beta_4 = -0,033$$

$$I = 0,532X_1 + 0,186X_2 - 0,041X_3 - 0,033X_4$$

$$\sigma^2 I = 0,4789$$

$$\sigma I = 0,6920$$

$$\begin{aligned} \text{Cambio esperado en } G_1 &= \sigma x_1 [0,47924 / 0,6920] D \\ &= 118,50 (0,6925) D \\ &= 82,06 D \quad (\text{g/planta}) \\ &= 82,06 * 44,44 \\ &= 3647 D \quad (\text{Kg/ha}) \end{aligned}$$

INDICE 5 :

X1 = Peso de la raíz tuberosa
 X2 = Diámetro de la raíz tuberosa
 X3 = Longitud del tallo principal
 X4 = Número de días al inicio de la floración
 X5 = Número de nudos del tallo principal

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,64 & -0,26 & -0,24 & -0,21 \\ 0,64 & 1 & -0,38 & -0,35 & -0,33 \\ -0,26 & -0,38 & 1 & 0,76 & 0,91 \\ -0,24 & -0,35 & 0,76 & 1 & 0,74 \\ -0,21 & -0,32 & 0,91 & 0,74 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,67 \\ 0,554 \\ -0,275 \\ -0,257 \\ -0,222 \end{bmatrix}$$

Solución :

$$\beta_1 = 0,531$$

$$\beta_2 = 0,184$$

$$\beta_3 = -0,095$$

$$\beta_4 = -0,041$$

$$\beta_5 = 0,066$$

$$I = 0,531 X_1 + 0,184 X_2 - 0,095 X_3 - 0,041 X_4 + 0,066 X_5$$

$$\sigma^2 I = 0,4792$$

$$\sigma I = 0,6922$$

$$\begin{aligned} \text{Cambio esperado en } G_1 &= \sigma x_1 [0,5078/0,6922] D \\ &= 118,50 (0,7337) D \\ &= 86,94 D \quad (\text{g/planta}) \\ &= 86,94 * 44,44 \\ &= 3864 D \quad (\text{Kg/ha}) \end{aligned}$$

INDICE 6 :

X_1 = Peso de la raíz tuberosa
 X_2 = Diámetro de la raíz tuberosa
 X_3 = Longitud del tallo principal
 X_4 = Número de días al inicio de la floración
 X_5 = Número de nudos del tallo principal
 X_6 = Número de hojas

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,64 & -0,26 & -0,24 & -0,21 & -0,19 \\ 0,64 & 1 & -0,38 & -0,35 & -0,33 & -0,33 \\ -0,26 & -0,38 & 1 & 0,76 & 0,91 & 0,74 \\ -0,24 & -0,35 & 0,76 & 1 & 0,74 & 0,70 \\ -0,21 & -0,32 & 0,91 & 0,74 & 1 & 0,72 \\ -0,19 & -0,33 & 0,74 & 0,70 & 0,72 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,67 \\ 0,554 \\ -0,275 \\ -0,257 \\ -0,222 \\ -0,205 \end{bmatrix}$$

Solución :

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,530 \\ \beta_2 &= 0,186 \\ \beta_3 &= -0,103 \\ \beta_4 &= -0,048 \\ \beta_5 &= 0,062 \\ \beta_6 &= 0,022 \end{aligned}$$

$$I = 0,530 X_1 + 0,186 X_2 - 0,103 X_3 - 0,048 X_4 + 0,062 X_5 + 0,022 X_6$$

$$\begin{aligned}\sigma^2 I &= 0,4863 \\ \sigma I &= 0,6974\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cambio esperado en G1} &= \sigma x1 [0,48053/0,6974] D \\ &= 118,50 (0,6890) D \\ &= 81,64 D \quad (\text{g/planta}) \\ &= 3628 D \quad (\text{Kg/ha})\end{aligned}$$