

GENETICA, CITOGENETICA, ESTRUCTURA FLORAL Y TECNICAS DE HIBRIDACION DE  
LA YUCA

Clair Hershey\*

Alvaro Amaya \*\*

Genética y citogenéticamente la yuca es uno de los cultivos menos conocidos. En los últimos años se han acumulado conocimientos en muchos otros aspectos pero se puede profundizar un poco más en lo relacionado a su genética y citogenética lo cual podría ser de gran ayuda en el mejoramiento genético del cultivo. Este artículo presenta un resumen de los conocimientos a cerca de la genética, citogénica, descripción de la estructura floral, hábito de floración y técnicas de hibridación de la yuca.

Sistema de Mejoramiento de los Cultivos

Las plantas que producen flores se pueden dividir en tres grupos de acuerdo con su sistema de mejoramiento. En el primer grupo están las especies que se autopolinizan. Para estas especies las plantas individuales dentro de una población son homocigotas en la mayoría de los locus. Entre los rasgos más importantes están una poca disminución del vigor originado por el efecto de consanguinidad y de que una vez una planta llega a ser homocigota esta se puede propagar indefinidamente por medio de semilla sin ningún cambio en su estructura genética.

El segundo método incluye cultivos que tienen polinización cruzada. Para cada planta se mantiene un alto grado de heterocigosis. La consanguinidad origina una marcada pérdida del vigor. En muchos casos varios mecanismos tales como la auto incompatibilidad fisiológica, monoecia, dioecia, protoginia y protandria han evolucionado para dar origen a la polinización cruzada.

Tercero, algunas especies son intermedias entre auto-polinizados y de polinización cruzada. La polinización cruzada ocurre cuando los medios que la favorecen están presentes aunque la autopolinización también ocurre frecuentemente. Generalmente la consanguinidad no causa mucha pérdida de vigor.

La yuca pertenece a la segunda categoría. Los conocimientos que hay sobre esta materia indican que la yuca es altamente heterocigota. Esta conclusión, se basa principalmente en dos criterios. Primero, cuando se presenta autopolinización hay una drástica reducción del vigor en sus progenies hasta tal punto de que muchas plantas no pueden sobrevivir más de una generación de autopolinización (Kawano et al, 1978). Segunda, la segregación que se observa en los caracteres morfológicos y en otros rasgos, cuando se cruzan dos clones distintos, es muy amplia indicando así que los genes son heterocigotes en muchos locus.

## Genética y Citogenética de la Yuca.

Todos los cultivares de yuca así como las especies silvestres hasta ahora estudiadas tienen un número de cromosomas de 36 (Graner, 1935; Perry, 1943; Hartman, 1973; Nassar, 1978). Usualmente el número básico de cromosomas en la familia de las Euforbiaceas es de ocho y el cincuenta por ciento de las especies es poliploide. Magoon et al (1969) estudiaron el complemento cromosómico del paquiteno para un cultivar de yuca. En base a la morfología de los cromosomas determinaron un idiograma del juego haploide de cromosomas. Identificaron seis juegos de cromosomas duplicados y tres tipos de cromosomas nucleares con lo cual catalogan a la yuca como poliploide. A partir de las diferencias presentes en los otros cromosomas y de la morfología de los cromosomas nucleares concluyeron de que esta especie es más alopoliploide que autopoliploide.

Umanah y Hartman (1973) comparando los kariotipos de M. esculenta y M. glaziovii encontraron similitudes morfológicas, especialmente en su longitud media, rango de longitudes, posición del centromero y número de satélites. Consideraron el kariotipo de naturaleza asimétrica, lo cual es una característica de las especies más avanzadas desde el punto de vista evolutivo. Las anomalías meióticas no son escasas. Estas consisten principalmente de cromosomas demorados en su desplazamiento hacia los polos durante la anafase, bivalentes mal orientadas y de anomalías en la segunda división meiótica (Moh, 1966). Sin embargo, estas ocurren solamente en un porcentaje muy bajo y tienen poco efecto en la fertilidad.

Las aberraciones relacionadas con la floración en un cultivo de propagación vegetativa tal como la yuca es de esperarse que sean comunes puesto que la floración y la producción de semillas no ejercen ninguna función en la propagación normal de este cultivo. La esterilidad masculina es común y esta puede ser de dos tipos: que las flores aborten antes de alcanzar madurez o cuando las flores maduran pero las anteras no producen polen (Kawano et al. 1978). Sin embargo la genética de la esterilidad masculina no ha sido aún estudiada.

Los estudios genéticos en yuca han sido hasta ahora más bien escasos debidos en parte a la dificultad de conformar un esquema de cruzamiento que se ajuste a cualquiera de los diseños sistemáticos comúnmente utilizados. Los distintos cultivares varían mucho en el número de frutos y en la época de floración. Aún más, la posible naturaleza poliploide de la yuca complica las interpretaciones.

Así mismo, se han identificado genes marcadores para tres características. Estudios hechos por Graner (1942) y Jos y Hrishí (1976) demostraron que la segregación presentada por los caracteres ancho y angosto en los lóbulos de las hojas están controlados por un solo gene. Aunque la edad y el ambiente afectan la anchura del lóbulo los cultivares se pueden ubicar fácilmente en cualquiera de estas dos clases. Los resultados indicaron que los lóbulos angostos son dominantes y los anchos, recesivos. La coloración roja y verde de las venas de las

hojas también ha sido usado como un gen marcador, pero el número de genes que la controla aún no ha sido estudiada (Kawano et al, 1978). Finalmente, Graner (1942) estudiando la coloración de las raíces encontró que el color oscuro es **dominante** sobre el blanco.

Estudios preliminares de varios caracteres agronómicos y resistencia a insectos han indicado que estos están controlados por muchos genes. La resistencia a la enfermedad del mosaico africano (CMD) fué reportada por Doughty (1958) y Jennings (1970) como de naturaleza multigénica. Esto fue luego confirmado por Hahra y Howland (1972) en evaluaciones con cerca de 10.000 plantas segregantes y 72 familias. La resistencia mostrada en un cruce dialélico fué también de naturaleza recesiva y de una heredabilidad de aproximadamente del 60% (Hahn et al, In Press). Un poco más tarde, Jennings (1976) estudiando la resistencia al mosaico africano (CMD) y a la enfermedad del veteado oscuro (CBS) observó que en ambos casos la resistencia es heredada predominantemente de una manera aditiva aunque no hay dominancia significativa para la resistencia al mosaico africano (CMD). La resistencia a la bacteriosis de la yuca (CBB) ha sido mostrado en forma tentativa de que es controlada por muchos genes actuando en una forma aditiva (CIAT, 1978). También experimentos de campo han mostrado que existe resistencia multigénica no específica de una raza y que debe ser utilizada en programas de mejoramiento (CIAT, 1979).

Características tales como rendimiento total por planta, índice de cosecha (proporción entre el peso de raíces y el peso total de la planta), materia seca de la raíz, deterioro de las raíces después de la cosecha han mostrado un alto coeficiente de regresión entre progenitores y progenies, indicando así un efecto aditivo de los genes para tales rasgos (CIAT, 1975, 1976). El contenido de HCN en las raíces parece que está regulado por un gen recesivo menos complejo (Hahn, et al, In Press).

#### Hábito de Floración y Estructura de la Flor

La yuca es una especie monoica que posee flores estaminadas y pistiladas en la misma inflorescencia. La floración siempre está acompañada con la ramificación del tallo, de tal manera que los cultivares que no ramifican, no florecen. Las plantas florecen preferencialmente durante los días cortos del año (Jennings, 1970). Sin embargo, el efecto de la temperatura y su interacción con la duración del día no ha sido aún bien documentada.

Las flores masculinas son terminales y las femeninas se encuentran en la parte basal de la inflorescencia. El hábito de floración es protogineo, es decir, las flores femeninas abren una o dos semanas antes de las masculinas. Este es un mecanismo que favorece la exogamia. Generalmente en la misma inflorescencia se encuentran pocas flores femeninas y muchas masculinas (Fig. 1).

En la flor femenina el perianto es pentalobulado y el pistilo presenta un anillo basal (Fig. 2). El ovario es trilobular, esférico con un estigma en forma de cabeza con tres lóbulos. En cada lóculo hay un óvulo penduloso, anatropo con una rafe ventral y el micrópilo dirigido hacia arriba. En la punta del tegumento interno se forma un tejido suave, la carúntula, que cubre el óvulo.

Las flores masculinas tienen el perianto en forma de copa con cinco lóbulos imbricados que circundan un disco glándular de 10 lóbulos (Fig.3). Las anteras están distribuidas en dos niveles, en la parte interna cinco anteras pequeñas con filamentos cortos encurvados hacia el centro y cinco más largas con filamentos sobresalientes. Los estambres pequeños están opuestos a los lóbulos del perianto mientras que los más grandes alternan con estos. Las anteras están adheridas en la parte dorsal de cada filamento y se abren en ranuras longitudinales. El polen sale de las anteras 2 a 2.1/2 horas antes de que las flores abran y la dehiscencia total finaliza muy pronto, generalmente antes de que la flor abra totalmente. Los granos de polen son grandes, esféricos y muy poca cantidad en cada saco. El polen es pegajoso y aparentemente la polinización se lleva a cabo por los insectos. El polen seco permanece viable por cerca de seis días (Chandraratna y Nanayakkara, 1948).

#### Técnicas de Hibridación

El tamaño relativamente grande de las flores junto con la manoecia y protoginia presentes en la yuca hacen que la polinización controlada sea fácil. Generalmente las flores femeninas y masculinas de la misma rama nunca abren simultáneamente pero si es común que flores tanto femeninas como masculinas de diferentes ramas de la misma planta florezcan al mismo tiempo. Esto ocurre generalmente en las horas del medio día (Fig. 2 y 3). Con un poco de práctica y basados en el color y forma de la flor es posible predecir qué flores femeninas abrirán en el mismo día. Un método más efectivo es desprender uno de los pétalos de una flor que aún no esté abierta. La presencia de una gota de néctar en la base del pétalo indica que la flor abrirá el mismo día (Fig.4).

Cuando se van a efectuar las polinizaciones las flores escogidas para ello se cubren con bolsas de tela (20x25 cms) en la mañana del día que se va a realizar el cruzamiento con el objeto de protegerlas de polen extraño después de que abran (Fig. 5). Las flores masculinas próximas a abrir en ese mismo día se colectan por la mañana y se depositan en frascos de plástico o de vidrio identificando el nombre de la variedad (Fig. 6). Dentro del frasco éstas abrirán en las horas del medio día.

La polinización se lleva a cabo descubriendo las flores femeninas y frotando suavemente las anteras con el polen sobre el estigma (Fig.7). Con una flor masculina se pueden polinizar tres femeninas. Luego de esto las flores polinizadas se identifican con tiquetes en los cuales se anota el cruzamiento, la fecha y el número de flores polinizadas (Fig. 8). Las flores femeninas que no han abierto al momento de hacer la polinización se eliminan con el fin de evitar posteriormente confusiones con las que han sido polinizadas.

La información de todos los cruces de un día se tabulan en un formato y más tarde se pasa a un sistema de tarjetas 3 x 5. De esta manera se pueden organizar los cruces primero por padre femenino y después por el recíproco siguiendo un orden alfabético para cada país y el número del clon. Esta información se puede pasar fácilmente al computador para tener fácil acceso a la información de las hibridaciones y más que todo para una mayor organización.

Las flores polinizadas se pueden cubrir inmediatamente con una bolsa de tela o papel o bien dejarse descubiertas (Fig. 9). En las flores que se dejan sin cubrir después de polinizar, el porcentaje de frutos formados frecuentemente disminuye y además parece que no hay mucha contaminación en las flores que se dejan a libre exposición (Kawano et al, 1978). Sin embargo después de dos semanas los frutos se deben cubrir para prevenir ataque de la mosca de la fruta y también para recoger las semillas cuando los frutos abran. Los frutos alcanzan su madurez a los tres meses después de la polinización. El fruto es globular de un diámetro aproximada de dos centímetros y con seis alas muy delgadas y angostas ( Fig. 10). La cápsula es dura y con tres lóculos cada uno de los cuales contiene una semilla ( Fig. 11). Las semillas son elípticas, de color negro o gris o de ambos. La cubierta gruesa y dura.

#### Almacenamiento y Germinación de la Semilla

Las semillas se empaacan en sobres pequeños identificando los padres, fecha de cosecha de los frutos, número de semillas y el código del cruzamiento (Fig. 12). Con respecto a las condiciones óptimas de almacenamiento de la semilla de yuca hay muy poca información. Bajo condiciones ambientales de laboratorio, la germinación disminuye drásticamente después de dos años.

Martín y Ruberte (1976) encontraron sin embargo que el almacena - miento en seco ( en cloruro de calcio) en condiciones de laboratorio produce buena germinación aún después de almacenar las semillas más de dos años. Estas condiciones de almacenamiento fueron superiores al almacenamiento a 3- 4°C. En el IITA, Nigeria (IITA, 1979) en estudios de germinación de semillas que han sido almacenadas por más de siete años a 5°C y 60 % de humedad relativa, no se encontró ninguna diferencia en la viabilidad de las semillas entre 0 y 7 años de edad.

Durante la germinación la radícula sale a traves del micrópilo y origina las raíces, a su vez el hipocotilo se encurva y se alarga permitiéndolo así, que los cotiledones emerjan de la semilla.

Se ha sugerido una temperatura alternada de 25°/35°C como una de las mejores condiciones para la germinación de semilla de la yuca. Los resultados indican que con estas temperaturas se obtienen mejores resultados para las semillas que han sido almacenadas en diferentes períodos que para una temperatura óptima constante de 35°C (Ellis y Roberts , 1979).



Fig. 1 Inflorescencia con flores femeninas y masculinas



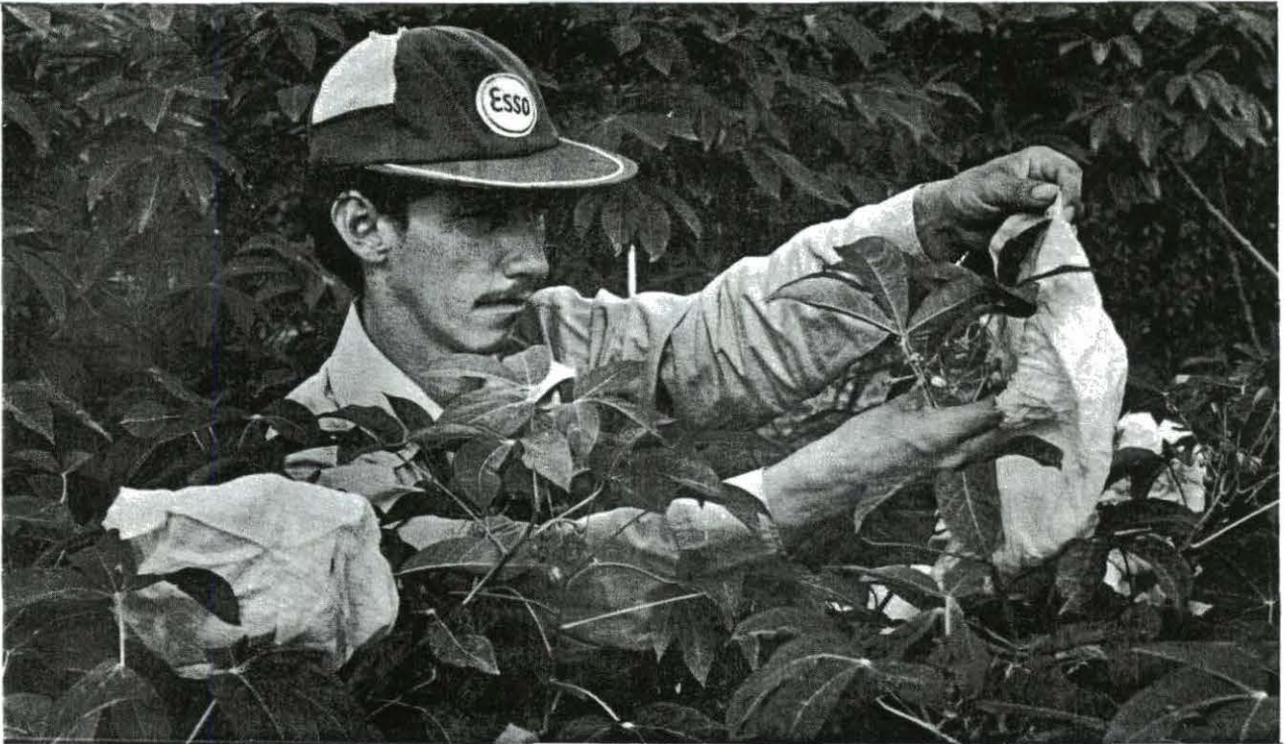
Fig. 2 Flor Femenina



**Fig. 3 Flor Masculina**



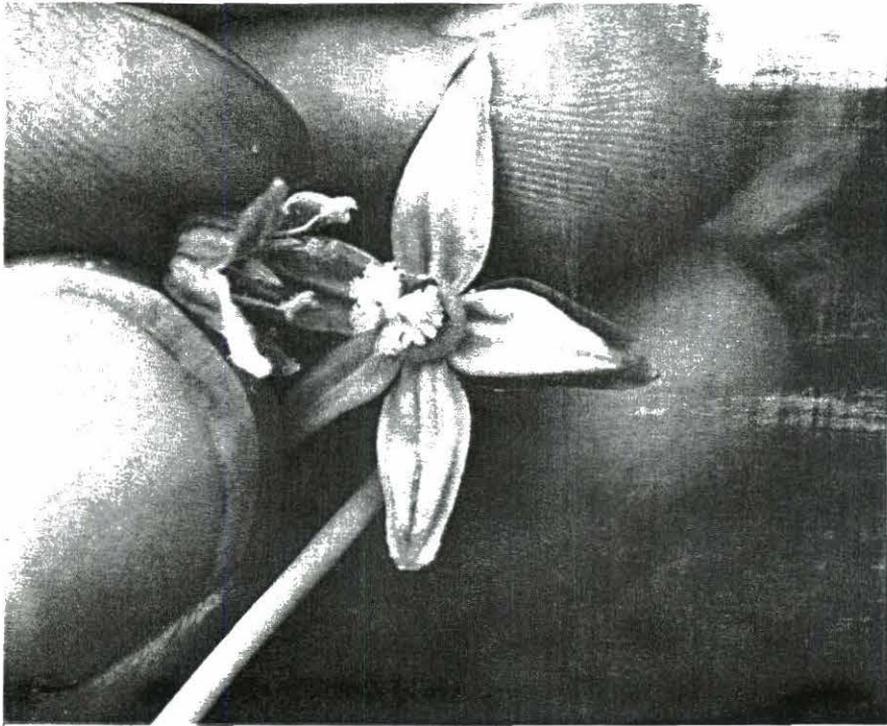
**Fig. 4 Flor femenina con néctar en la base del pétalo, indicando que la flor está próxima a abrir**



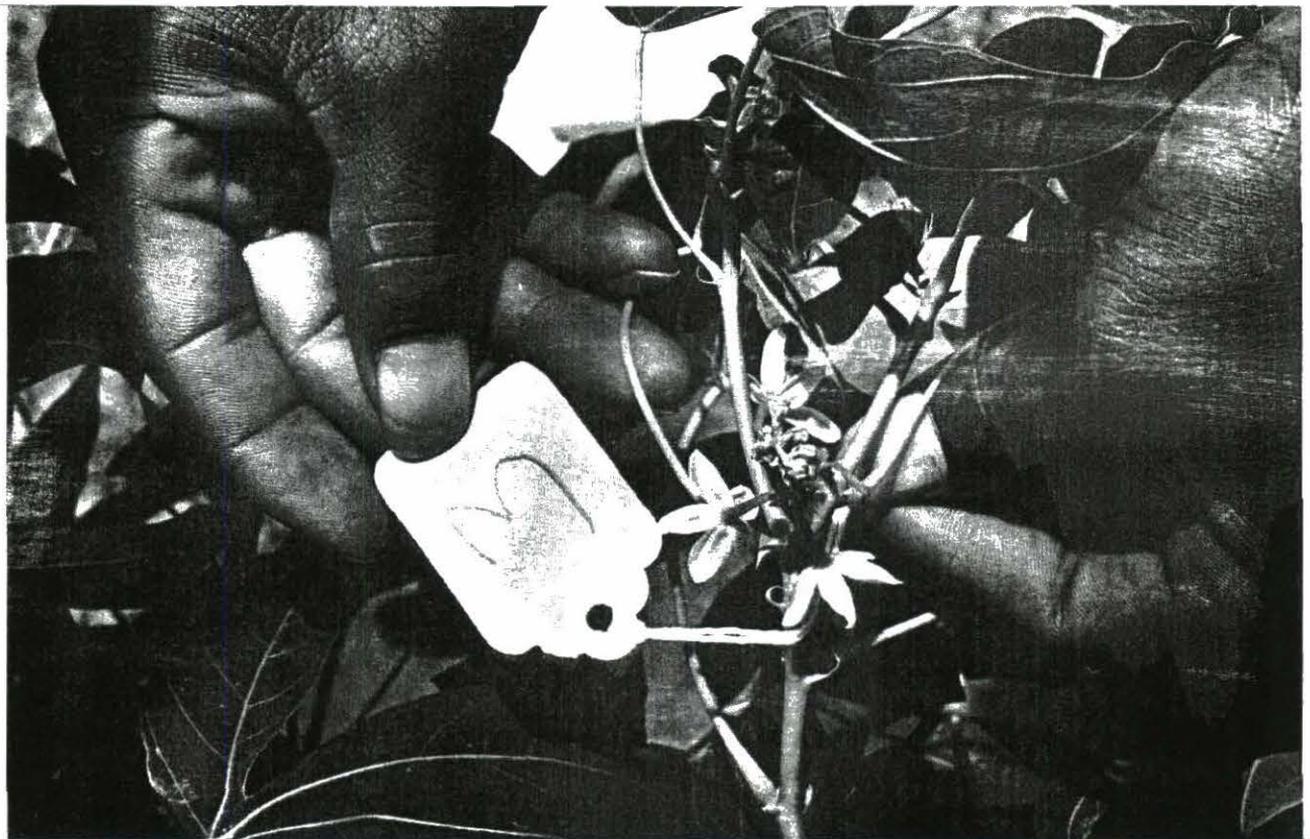
**Fig. 5** Cubriendo flores que van a ser polinizadas durante el día.



**Fig. 6** Colección de las flores masculinas en frascos



**Fig. 7**      **Polinización**



**Fig. 8**      **Identificación de las flores ya polinizadas**



Fig. 9 Cubriendo frutos en proceso de desarrollo.

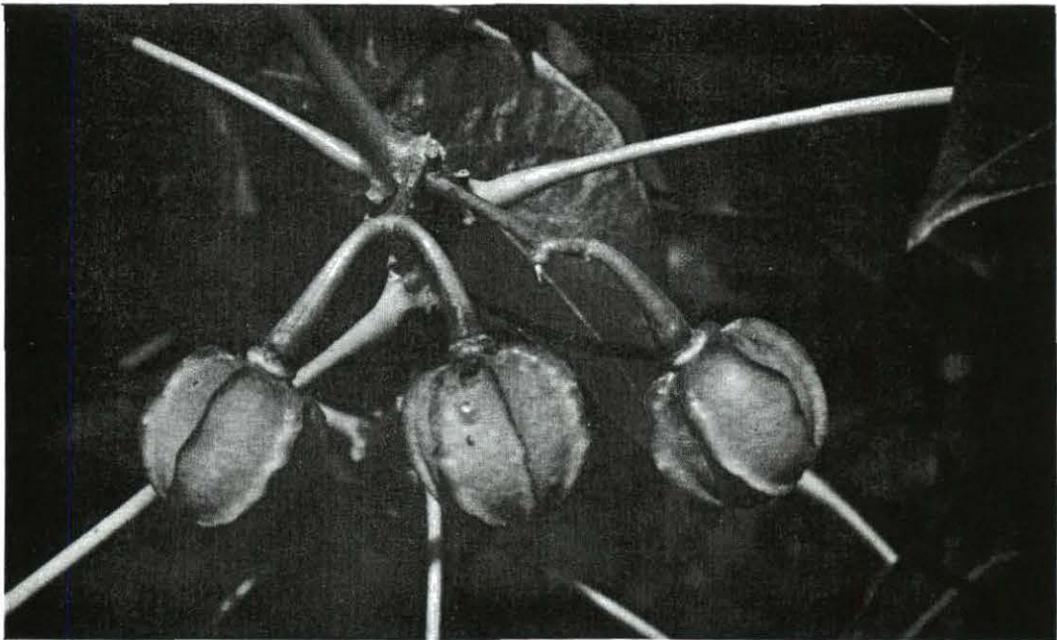


Fig. 10 Frutas maduras

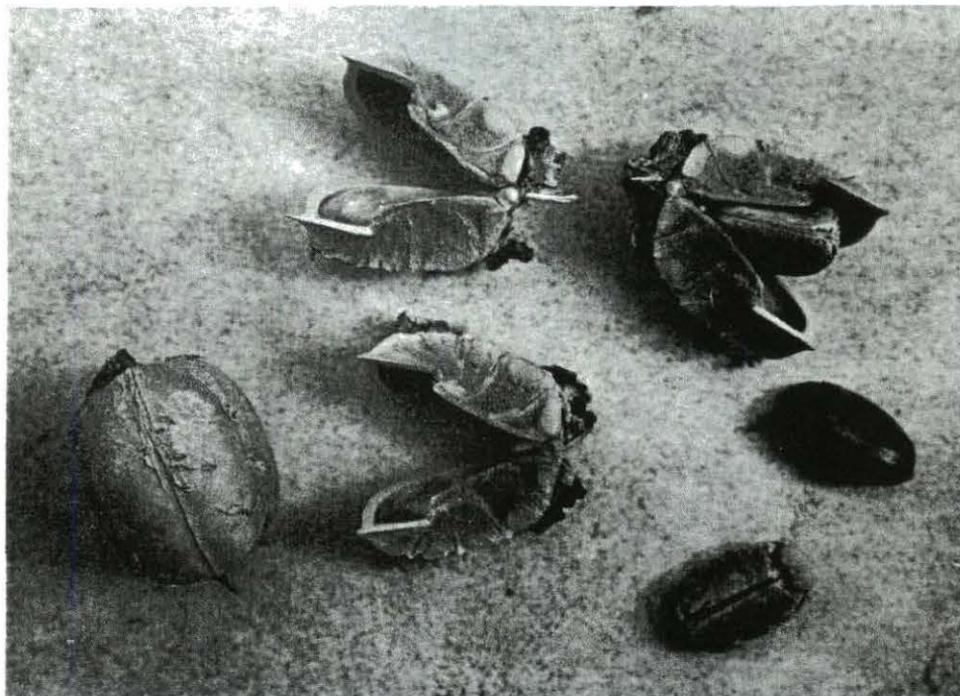


Fig. 11 Cápsulas abiertas y semillas

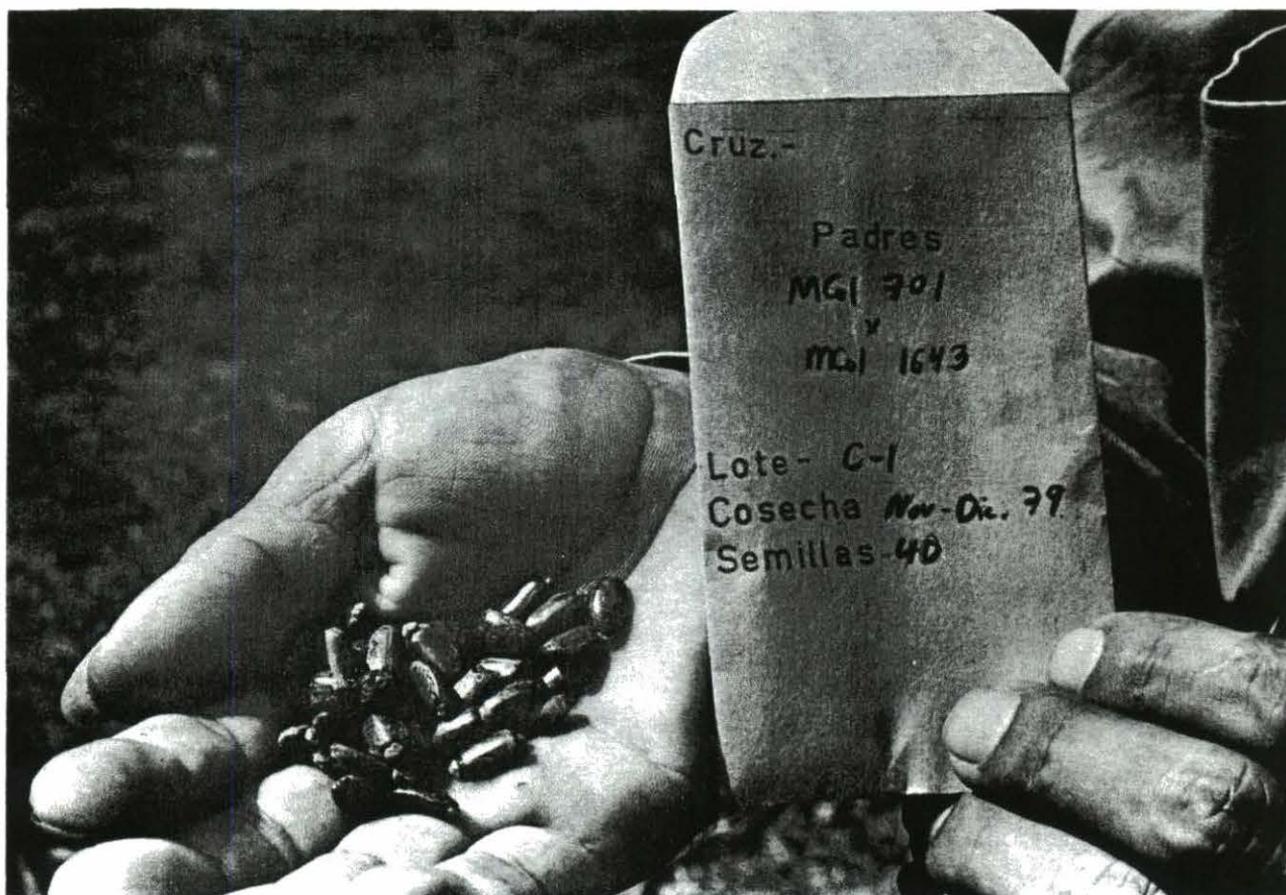


Fig. 12 Empaque de las semillas.

## REFERENCIAS

- Chandraratna, M.F. and K.D.S.S. Nanayakkara. 1948. Studies in cassava. II. The production of hybrids. Trop. Agri. 194: 59-74.
- Doughty, L.R. 1958. Cassava breeding for resistance to mosaic and brown streak virus. A review of twenty-one years' work. Record of Res. E. Afr. Agr. and For. Res. Org. Ann. Rep. p. 48-55.
- Ellis, R.H. and E.H. Roberts. 1979. Germination of stored cassava seed at constant and alternating temperatures. Ann. Bot. 44: 677-684.
- Graner, E.A. 1935. Contribuicao para o estudo cytologico da mandioca. Piracicaba, Brasil, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 28 p.
- \_\_\_\_\_. 1942. Genetica de Manihot. I. Hereditariedade da forma da folha e da colaboracao da pelicula externa das raizes em Manihot utilissima Pohl. Bragantia 2: 13-22.
- Hahn, S.K. and A.K. Howland. 1972. Breeding for resistance to cassava mosaic. Proceedings Cassava Mosaic Workshop, IDRC/IITA.
- \_\_\_\_\_, and E. Terry. (In Press). Cassava breeding at IITA. Paper presented at the Third International Tropical Root Crop Symposium held at IITA, 1973.
- IITA. 1979. Annual Report for 1978, Ibadan, Nigeria.
- Jennings, D.J. 1970. Cassava in Africa. Field Crop Abst. 23: 271-278.
- \_\_\_\_\_. 1976. Breeding for resistance to African cassava mosaic disease: progress and prospects. In African Cassava Mosaic, Report of an Interdisciplinary Workshop held at Maguga, Kenya, 19-22 February, 1976, B.L. Nestel, ed. IDRC-071e, p. 39-44.
- Jos, J.S. and N. Hrishii. 1976. Inheritance of leaf shape in cassava. J. Root Crops 2: 10-12.
- Kawano, K., A. Amaya, M. Rios and W.M.F. Goncalves. 1978. Factors affecting efficiency of hybridization and selection in cassava. Crop Science. 18: 373-376.
- Magoon, M.L., R. Krishnan and K. Vijaya Bai. 1969. The pachytene karyology of Manihot esculenta Crantz. Trop. Root and Tuber Crops Newsletter. 2:9.
- Martin, F.W. and R. Ruberte. 1976. Germination and longevity of cassava seeds. Tropical Root and Tuber Crops Newsletter no. 9: 54-56.

- Moh, C.C. 1966. Preliminary observations of meiotic chromosome pairing in Manihot esculenta. The Applic. Nuclear Energy to Agr. Turrialba, Inst. Interamericano de Ciencias Agricolas, Ann. Rep.
- Nassar, N.M.A. 1978. Genetic resources of cassava : 4 Chromosome behavior in some wild Manihot species. Ind. J. Gen. & Pl. Breeding 38: 135-137.
- Perry, B.A. 1943. Chromosome number and phylogenetic relationships in the Euphorbiaceae. Amer. J. Bot. 30: 527-542.
- Umanah, E.E. and R.W. Hartmann. 1973. Chromosome numbers and karyotypes of some Manihot species. J. Am. Soc. Hort. Sci. 98: 272-274.