

18.970

18970

~~Mejoramiento Varietal~~

(91)

La acumulación de información permite definir ahora en forma más precisa el objetivo del esfuerzo por el mejoramiento varietal de yuca en el CIAT, de la siguiente manera: proporcionar genotipos de yuca que den rendimientos altos, estables y económicamente válidos mediante el uso de prácticas culturales que estén al alcance de los agricultores en las principales áreas productoras de yuca.

La yuca se cultiva en ambientes muy diversos con una gran variedad de prácticas culturales. La principal ventaja de la yuca en comparación con el resto de los cultivos es su habilidad para producir eficientemente en condiciones de crecimiento subóptimas. Los cultivos de yuca se enfrentan a un amplio espectro de enemigos bióticos tales como enfermedades e insectos, especialmente en el trópico americano en donde esta especie evolucionó. En estas condiciones, la obtención de un rendimiento estable--sin la ayuda del riego, las enmiendas al suelo, o la aplicación de agroquímicos--se convierte en un objetivo de selección tan importante como un alto rendimiento. Un rendimiento económicamente válido incluye factores tales como un alto contenido de materia seca en las raíces, buena calidad de consumo, baja deteriorabilidad de las raíces, y facilidad en la cosecha o bajo contenido de cianuro o, a veces, ambos factores. Un factor clave en todo el esquema de la evaluación de genotipos es ajustar las condiciones ambientales en los campos de selección de tal manera que sean similares a las prácticas culturales que están--o estarán--al alcance de la mayoría de los cultivadores actuales y futuros de yuca.

La evaluación y selección de genotipos continuó activamente en ICA-Caribia y en ICA-CIAT-Carimagua, en tanto que las hibridaciones y selecciones iniciales se concentraron en la sede del CIAT en Palmira. Excepto por aplicaciones modestas de cal y de fertilizantes en Carimagua, no se aplicaron ni riego ni productos químicos. Por consiguiente, los campos de selección en Caribia, Carimagua y CIAT-Palmira son representativos, respectivamente, de una tecnología de bajos insumos en suelos de fertilidad intermedia a alta en el trópico cálido de tierras bajas (zona edafoclimática I); de una tecnología baja a intermedia en insumos con suelos extremadamente bajos en fertilidad en las sabanas tropicales (zona edafoclimática II); y de una tecnología de bajos insumos en suelos de alta fertilidad en los trópicos de altitud intermedia (zona edafoclimática IV).

Rendimiento Potencial

Ambientes de alto rendimiento (CIAT-Palmira)

Se ha observado una tendencia ascendente constante en el rendimiento, en promedio, de raíces en los ensayos de rendimiento desde 1973 hasta la fecha (Figura 1). Ultimamente, los rendimientos, en promedio, de todas las entradas en los ensayos repetidos de rendimiento

CIAT - Mej. varietal

son de aproximadamente 40 t/ha por año, que representa un aumento cercano al 60% del rendimiento promedio de accesiones del germoplasma no seleccionadas en el ensayo de 1973-74. Actualmente se obtienen, con frecuencia, rendimientos de más de 60 t/ha con contenidos de materia seca de más del 35%.

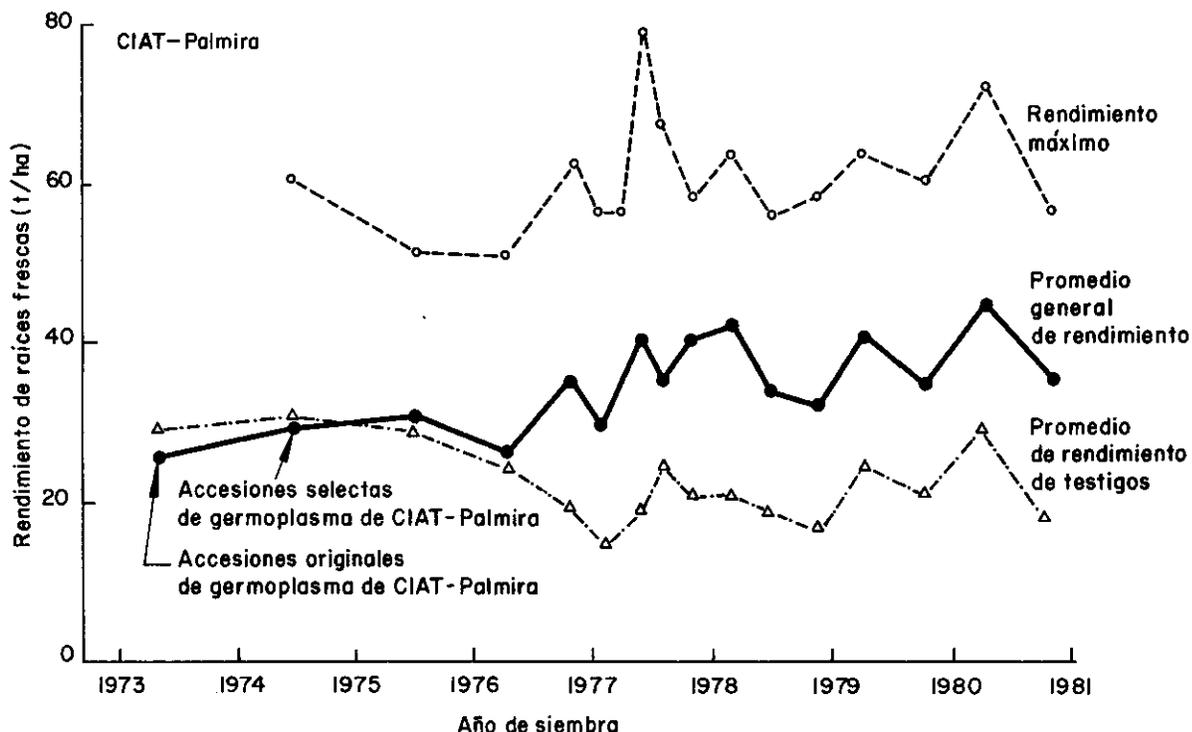


Figura 1. Cambio en los rendimientos, en promedio, de los ensayos de rendimiento y de genotipos testigo de yuca desde 1973 hasta la fecha en CIAT-Palmira (genotipos testigo: Llanera, M Col 22 y M Col 113).

El trópico cálido de tierras bajas (Caribia)

Las accesiones seleccionadas de germoplasma y los clones F_1 han venido superando en rendimiento, en forma consistente, a los cultivares locales (Figura 2). Los rendimientos en el año de cultivo 1979-80 fueron extremadamente bajos, debido principalmente al patrón desfavorable de precipitación de ese año y a un suelo pobre en el campo del ensayo. Sin embargo, el rendimiento, en promedio, de los clones F_1 seleccionados fue significativamente mayor que el de los cultivares locales. Hay una tendencia global ascendente en el rendimiento promedio de los ensayos de rendimiento. Fácilmente se obtienen rendimientos de más de 40 t/ha al año con un contenido de materia seca de más del 30%.

Condiciones ambientales difíciles (Carimagua)

Las primeras accesiones de germoplasma introducidas en Carimagua en 1974 fueron un fracaso total. Virtualmente, todas las accesiones fueron

destruidas por el añublo bacteriano común (CBB). Durante 1975 y 1976, el CBB se controló artificialmente y se obtuvieron rendimientos de 20 t/ha. A partir de 1977, los ensayos de rendimiento se dejaron expuestos a la infección natural por el CBB y los rendimientos, en promedio, disminuyeron drásticamente otra vez (Figura 3). Durante estos años, los promedios de rendimiento de los clones F_1 fueron inferiores a los de los cultivares locales.

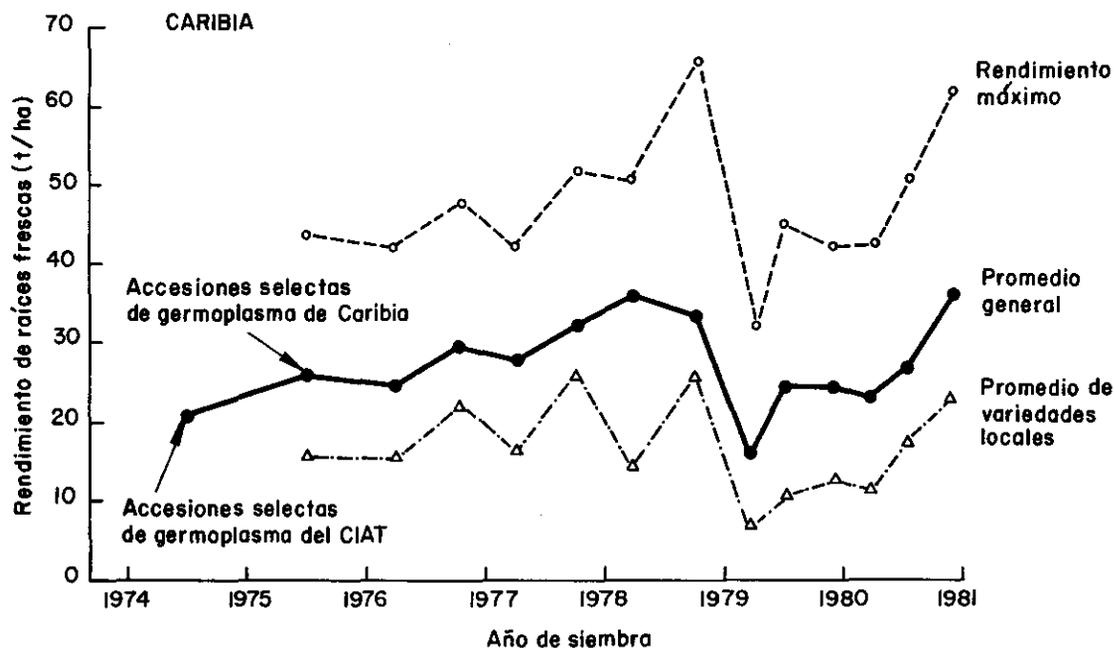


Figura 2. Cambio en el promedio del ensayo de rendimiento y de los cultivares locales de yuca desde 1974 hasta la fecha, en Caribia (cultivares locales: Manteca y Montero).

La selección intensiva por resistencia al CBB y por adaptación al ambiente de Carimagua mejoró el nivel de rendimiento de los clones F_1 , en tanto que el rendimiento de los testigos locales permaneció básicamente igual y los rendimientos, en promedio, de los ensayos fueron significativamente mayores que los de los cultivares locales en años recientes. El mejoramiento del rendimiento a largo plazo en Carimagua se puede observar claramente cuando los rendimientos de los clones F_1 se expresan como porcentajes de los cultivares locales (Figura 4). Una porción significativa de este mejoramiento debe provenir de la resistencia mejorada al CBB y al superalargamiento, otra enfermedad severa que prevalece en Carimagua.

Estabilidad del Rendimiento

La estabilidad del rendimiento se divide en tres componentes:

- (1) estabilidad en localidades geográficas (estabilidad especial);
- (2) estabilidad en prácticas culturales (estabilidad de sistemas); y
- (3) estabilidad con los años o estaciones (estabilidad en el tiempo).

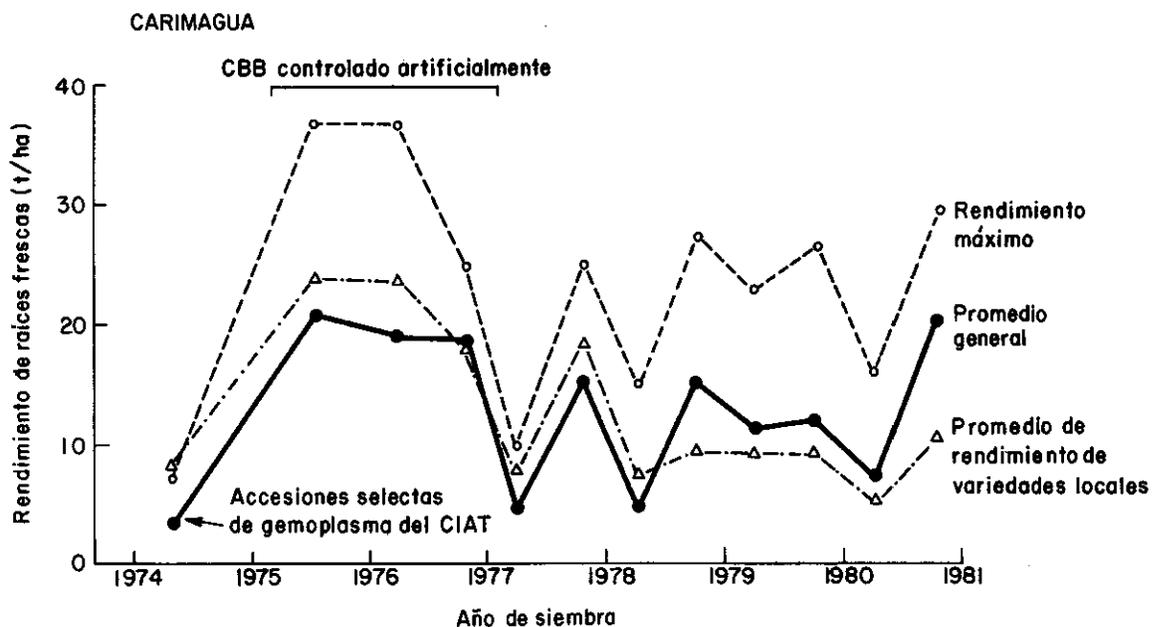


Figura 3. Cambio en los rendimientos, en promedio, de los ensayos de rendimiento y de los cultivares locales de yuca desde 1974 hasta la fecha en Carimagua (cultivares locales: Llanera y M Col 638).

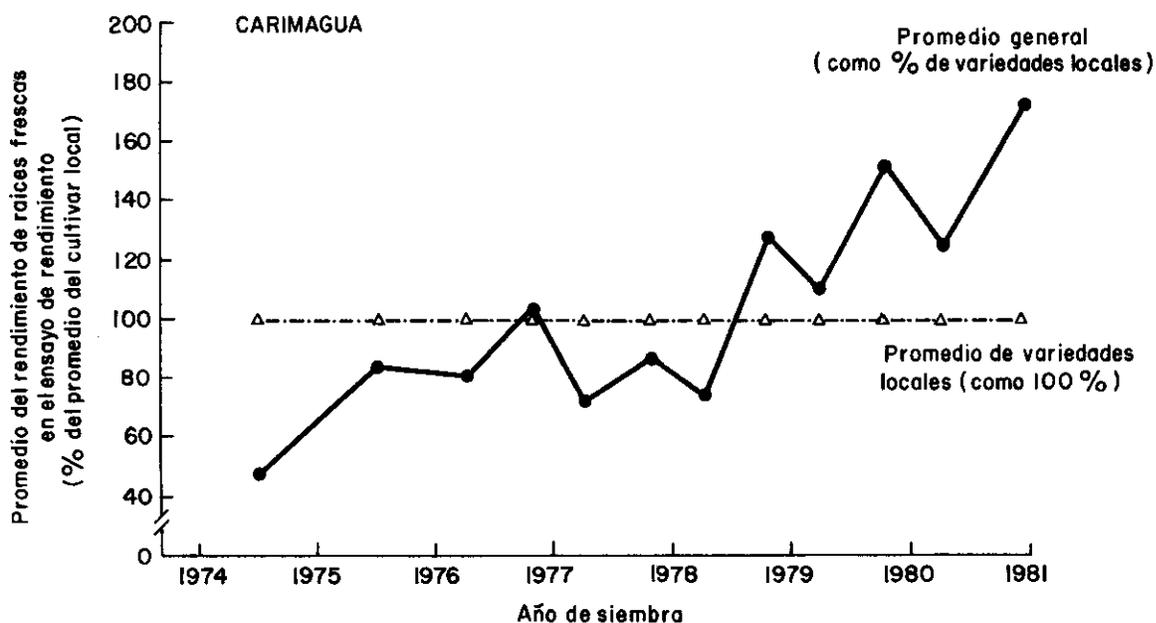


Figura 4. Cambio en el rendimiento, en promedio, del ensayo de rendimiento de yuca, expresado como porcentaje de los cultivares locales, desde 1974 hasta la fecha, en Carimagua (cultivares locales: Llanera y M Col 638).

Estabilidad espacial

La estabilidad espacial se puede utilizar como medida de la aplicabilidad, a otras áreas geográficas, de los resultados obtenidos en las estaciones experimentales. Sin embargo, los agricultores individuales no están particularmente interesados en la estabilidad espacial: están más interesados en la estabilidad en el tiempo y de sistemas.

La estabilidad espacial se puede subdividir en estabilidades en macro y microambientes.

Estabilidad macroespacial

Como es improbable que algún programa de selección de yuca recomiende un cultivar para que sea adaptado simultáneamente en ambientes radicalmente diferentes, los análisis de la estabilidad macroespacial son útiles solamente para definir estrategias básicas de investigación de programas integrados de selección, tales como el del CIAT. Los primeros trabajos en fisiología (Informe Anual 1976) demuestran claramente que los factores fisiológicos que afectan el rendimiento son radicalmente diferentes a una temperatura, en promedio, por debajo de 20°C que a otra por encima de 24°C; datos anteriores, obtenidos de ensayos regionales (Informes Anuales 1975, 1976 y 1977) sostienen este argumento. El espectro de enfermedades e insectos también es radicalmente diferente por debajo de 20°C (Informes Anuales 1979 y 1980, Sección de Patología).

Por otra parte, en el rango de temperatura comprendido entre 24 y 28°C--rango que cubre áreas principales productoras de yuca--algunos factores fisiológicos importantes actúan similarmente en un amplio rango de ambientes (CIAT, Informe Anual 1979, Sección de Mejoramiento Varietal). La identificación de M Col 1468 (CMC-40) y M Col 1684 en ensayos regionales anteriores, y de CMC 507-37 este año (véase la Sección de Ensayos Regionales) sostiene ampliamente el punto de vista de que los genotipos de yuca cuidadosamente seleccionados se pueden adaptar a condiciones agroclimáticas marcadamente diferentes.

Estabilidad microespacial

La estabilidad microespacial es de vital importancia en el proceso de lanzamiento de variedades puesto que la selección se basa en los resultados de estaciones experimentales para una región, la cual siempre posee variabilidad microambiental. Muchas líneas nuevas parecen presentar este tipo de estabilidad (véase la Sección de Ensayos Regionales).

Estabilidad de Sistemas

La estabilidad de sistemas es de gran interés para los agricultores individuales, la mayoría de los cuales no pueden preparar sus campos en forma ideal, sembrar en fechas óptimas o controlar las malezas de la

manera más efectiva, y tienen que conformarse con prácticas de manejo de segunda o tercera clase.

Estabilidad en niveles de fertilidad

Mediante la aplicación de fertilizantes en Carimagua, clones seleccionados superaron en rendimiento a los cultivares tradicionales en forma significativa (Cuadro 1). Sin la aplicación de fertilizantes, los rendimientos, tanto de los clones seleccionados como de los cultivares tradicionales, fueron mucho más bajos que los obtenidos en las parcelas fertilizadas; sin embargo, la superioridad de los clones seleccionados en comparación con los cultivares tradicionales se mantuvo aún a baja fertilidad. Esto indica que la superioridad en rendimiento de genotipos de yuca cuidadosamente seleccionados se puede mantener en amplio rango de niveles de fertilidad.

En las sabanas tropicales la yuca se ha cultivado tradicionalmente como un cultivo de huerto para el autoconsumo. La fertilidad del suelo en los huertos puede no haber sido tan baja como en el resto de la sabana. Los cultivares tradicionales se han adaptado a esta condición. La producción continua de yuca en grandes explotaciones agrícolas como en Carimagua, debe ser una experiencia nueva para el germoplasma de yuca. Se está creando un nuevo ecosistema para el cual los cultivares tradicionales no tienen que estar, necesariamente, bien adaptados.

Cuadro 1. Rendimiento de raíces de cultivares tradicionales y de líneas F_1 seleccionadas, con o sin aplicación de fertilizantes, en Carimagua (siembra en octubre, 1980).

Genotipo	Rendimiento de raíces frescas (t/ha por año)	
	Sin fertilizantes ^a	Con fertilizantes ^b
<u>Cultivares tradicionales</u>		
Llanera	3.5	5.6
M Col 638	4.5	15.3
M Col 1684	<u>3.1</u>	<u>6.9</u>
Promedio	3.7	9.3
<u>Selección del CIAT</u>		
CM 430-37	10.8	26.4
CM 523-7	12.5	19.4
CM 723-3	8.7	21.2
CM 946-2	9.7	22.9
CM 996-6	<u>6.9</u>	<u>27.4</u>
Promedio	9.7	23.4

a. Se aplicaron 500 kg/ha de cal dolomítica.

b. Lo mismo que en a., más 750 kg/ha de 10-20-20 (N, P_2O_5 , K_2O en %, respectivamente).

Estabilidad en rangos de manejo de las fincas

Los ensayos a nivel de finca adelantados por el grupo de la sección de Economía (véase la Sección de Economía) muestran que la capacidad de rendimiento de CM 342-170, un clon seleccionado en Caribia, puede ser estable en diferentes condiciones de manejo agrícola. Esto indica que puede ser posible seleccionar genotipos superiores que presenten un buen comportamiento, incluso con un manejo pobre.

La yuca se ha cultivado tradicionalmente en pequeñas cantidades por muchos agricultores menores y los productos han sido consumidos primordialmente dentro de comunidades pequeñas. La producción de yuca en mayores cantidades como cultivo que produce beneficios económicos debe ser relativamente nueva. Las selecciones hechas por los agricultores no han tenido, posiblemente, suficiente tiempo para ajustarse a este nuevo estilo de producción de yuca. Los cultivares tradicionales pueden tener ventajas comparativas en comparación con otros genotipos en los cultivos de huerto, pero no necesariamente deben tenerlas en condiciones de producción comercial.

Estabilidad en el Tiempo

Muchos factores tales como el patrón de la precipitación y la incidencia de las enfermedades e insectos están relacionados con la estabilidad en el tiempo. Sin embargo, el factor más difícil es otro--un cuarto factor--que se manifiesta con la creación de un nuevo ecosistema cuando se introducen las nuevas variedades o las nuevas prácticas culturales o unas y otras.

Estabilidad en el tiempo en el trópico cálido de tierras bajas (Caribia)

Una de las selecciones anteriores (CM 342-170) ha mostrado una estabilidad razonable en su rendimiento, a un alto nivel de rendimiento, en ocho estaciones de siembra durante cuatro años (Figura 5). CM 342-170 es superior al cultivar local Montero, tanto en rendimiento como en estabilidad, pese a que es inferior en su contenido de materia seca en las raíces. Se dispone de muchas selecciones nuevas que aparentemente dan un mayor rendimiento y presentan mayor contenido de materia seca en las raíces junto con mejor resistencia a enfermedades; sin embargo, estos genotipos tienen que pasar la prueba de la estabilidad del rendimiento con los años.

Estabilidad en el tiempo en una región de suelos pobres (Carimagua)

En Carimagua son numerosos los factores adversos para el rendimiento; por consiguiente, en este ambiente es más difícil obtener altos rendimientos y a la vez buena estabilidad. Algunos clones tales como CM 523-7 parecen presentar alguna mejora en lo que respecta a la estabilidad del rendimiento en comparación con los cultivares locales (Figura 6). Una mayor resistencia al CBB y al superalargamiento son logros en el mejoramiento que presentan estas líneas.

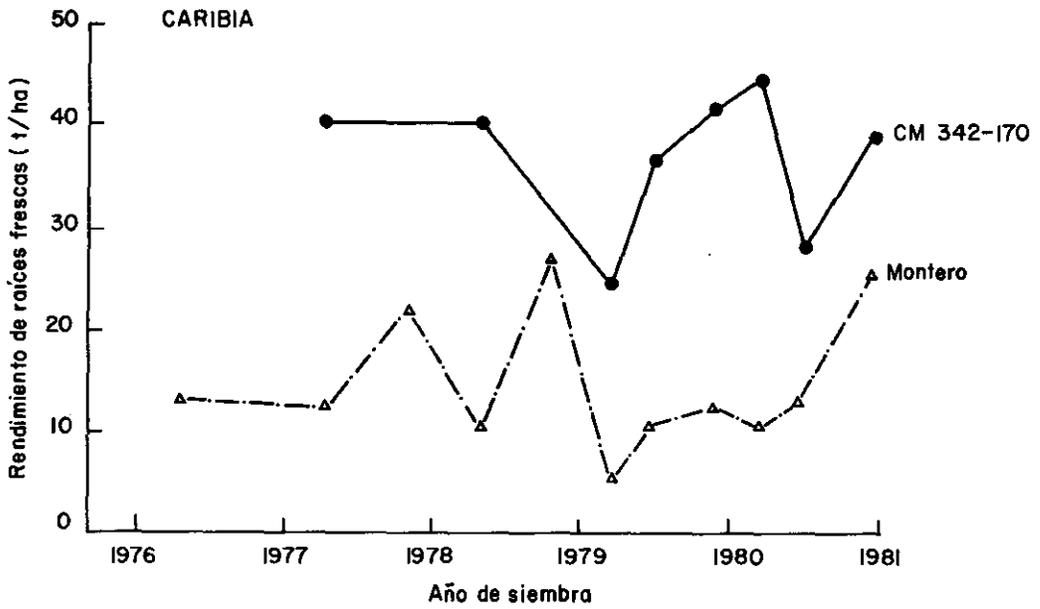


Figura 5. Cambio en los rendimientos de una línea F_1 seleccionada y de un cultivar local, durante cinco años en Caribia.

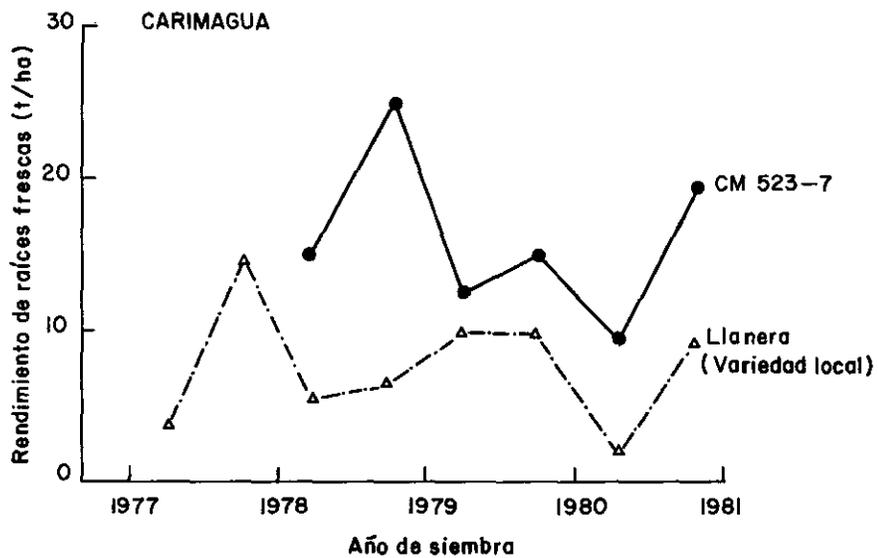


Figura 6. Rendimiento de líneas F_1 seleccionadas y de un cultivar local durante cuatro años en Carimagua.

Estabilidad en el tiempo en un ambiente de rendimiento alto (CIAT-Palmira)

En Palmira, el rendimiento de M Col 1684 ha venido disminuyendo gradualmente desde la siembra de 1973, en tanto que el rendimiento de Llanera no ha sido particularmente alto pero se ha mantenido

relativamente estable durante el mismo período (Figura 7). M Col 1684 es susceptible y Llanera moderadamente resistente a los trips, los cuales eran un problema menor durante los primeros años, pero ahora constituyen un factor limitativo severo de los rendimientos. La producción continua de yuca en grandes cantidades fue una nueva experiencia en el área de Palmira; por consiguiente, se ha creado un nuevo ecosistema. Algunas líneas resistentes a los trips, tales como CM 91-3, tienden a presentar un alto rendimiento potencial y una mejor estabilidad del rendimiento (Figura 7).

Naturaleza de la resistencia a las principales enfermedades

Uno de los mecanismos bióticos que ocurre con mayor frecuencia y que afecta a la estabilidad en el tiempo de los genotipos de cultivo es la ruptura de la resistencia a las enfermedades. La resistencia se rompe cuando aparecen nuevas razas fisiológicas de un patógeno. Este fenómeno ocurre con más probabilidad cuando la resistencia proviene de un sistema oligogénico.

La observación de la reacción de cuatro genotipos de yuca al añublo bacteriano (CBB) en Carimagua durante seis años indica que los cultivos de yuca se encuentran bajo una presión constante del CBB (Figura 8) a menos que la enfermedad se controle artificialmente, como se hizo en 1975 y 1976. M Col 22 es susceptible, M Col 638 es el más resistente, y M Col 1684 y Llanera siempre han mostrado una reacción intermedia. Este orden varietal de la resistencia al CBB ha sido constante durante los años de observación (Figura 8). El CBB parece colonizar rápidamente a M Col 22 en tanto que coloniza lentamente a M Col 638.

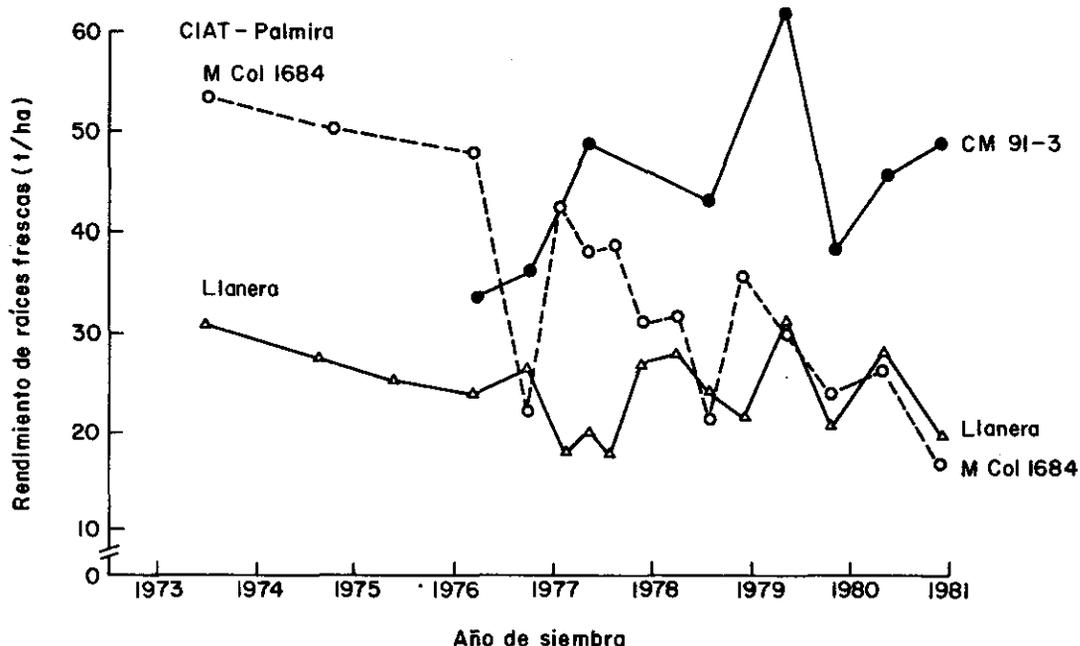


Figura 7. Rendimiento de Llanera, M Col 1684, y una línea F_1 seleccionada, durante ocho años en CIAT-Palmira.

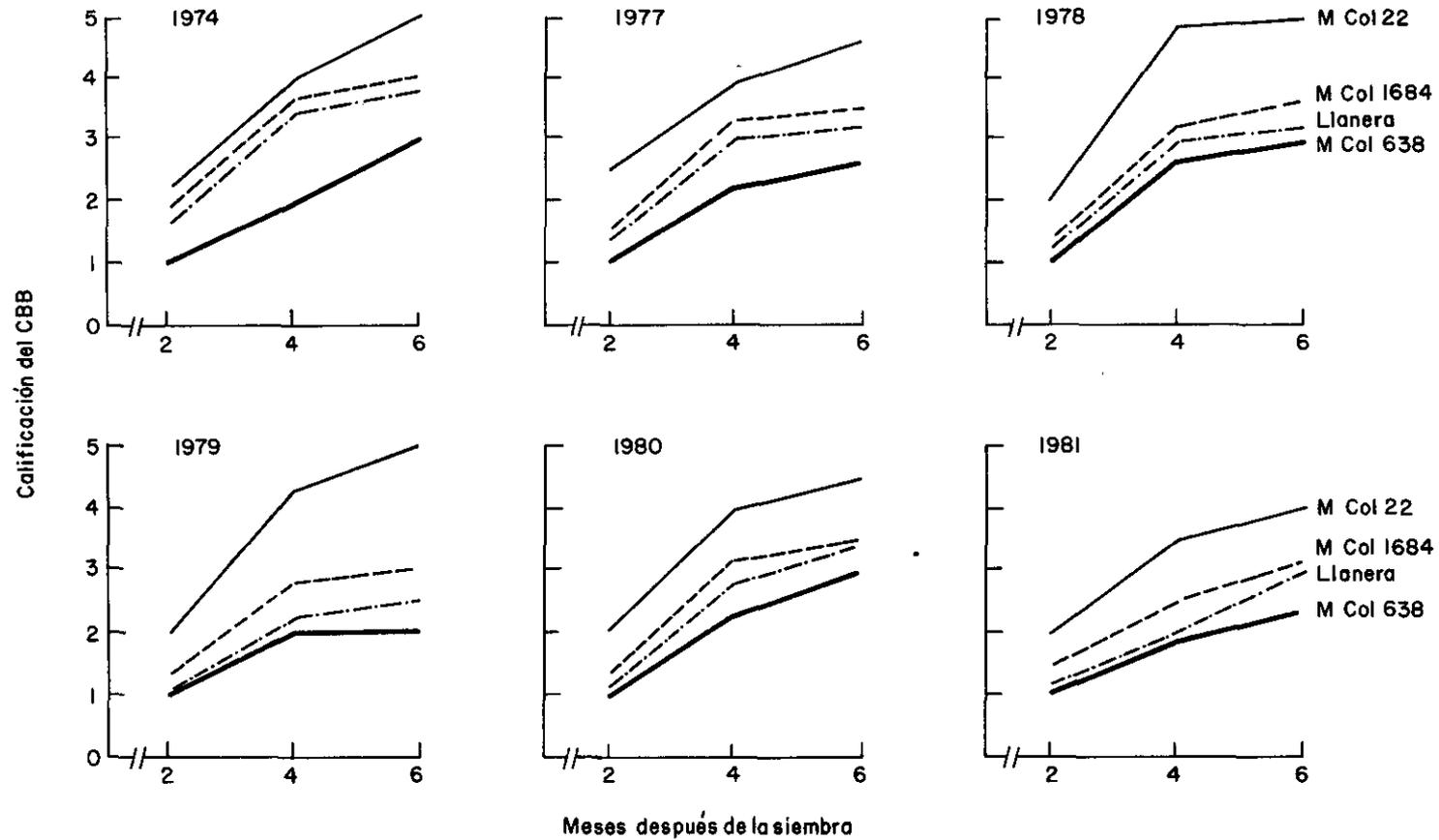


Figura 8. Reacción de cuatro genotipos de yuca al añublo bacteriano común (CBB) durante la estación lluviosa a lo largo de seis años, en Carimagua (escala de evaluación del CBB: véase Informe Anual 1978, Sección Mejoramiento Varietal).

Las observaciones detalladas sobre la infección por el CBB en hojas de yuca a mediados de la estación lluviosa indicaron que un genotipo susceptible (M Col 22) tenía promedios de 4.4 hojas sanas y 4.1 hojas infectadas de CBB por tallo, en tanto que un genotipo moderadamente susceptible (M Col 1684) tenía 5.9 hojas sanas y 3.4 hojas infectadas por tallo (Figura 9). Un genotipo moderadamente resistente (M Col 638) tenía 8.2 hojas sanas y 4.6 infectadas por tallo, y un genotipo resistente (CM 523-7) tenía 11.6 hojas sanas y 10.5 hojas infectadas por tallo.

La tasa de emergencia foliar por ápice de plantas de la misma edad es, en gran medida, constante en un ambiente determinado independientemente del genotipo; por ejemplo, durante la estación lluviosa en Carimagua, una hoja emerge en cada ápice aproximadamente cada 2.2 días. Con base en este hecho se puede inferir que el desarrollo inicial del CBB (desde la emergencia foliar hasta el desarrollo de síntomas visibles del CBB en las hojas) tardó 9.7, 13.0, 18.0 y 25.5 días en genotipos susceptibles, moderadamente susceptibles, moderadamente resistentes y resistentes, respectivamente. De manera similar, la caída de las hojas ocurrió a los 18.7, 20.5, 28.2 y 48.6 días, respectivamente. Los análisis estadísticos sostienen la hipótesis de que la resistencia--medida en términos del número de días requeridos para la colonización por el CBB o la caída de las hojas--es una característica cuantitativa.

Observaciones similares de la enfermedad del superalargamiento durante ocho años también indican que la yuca se encuentra bajo una presión constante por parte de esa enfermedad en Carimagua (Figura 10). M Col 113 es altamente susceptible, M Col 22 es susceptible, Llanera es moderadamente resistente, y M Col 638 es la más resistente. Este orden varietal de la resistencia al superalargamiento ha sido constante durante el transcurso de los años de observación. El superalargamiento parece infectar a M Col 113, y desarrollarse en él, rápidamente, en tanto que tiende a hacer lo uno y lo otro lentamente en M Col 638.

Observaciones detalladas sobre la expresión del superalargamiento en tallos de yuca durante la estación lluviosa indican que hay una variación cuantitativa en el tiempo requerido para el desarrollo de la enfermedad, en más del 50% de los tallos; sin embargo, en la mayoría de los genotipos de yuca se observaron síntomas de la enfermedad 1.5 meses después de la germinación (Figura 11). Más del 50% de los tallos de un genotipo altamente susceptible (M Col 113) se observaron con síntomas de la enfermedad dentro de los primeros 1.5 meses después de la germinación, en tanto que un genotipo moderadamente resistente (Llanera) tomó seis meses para alcanzar un 50% de sus tallos con síntomas de la enfermedad. Los genotipos resistentes tales como M Col 638 y CM 723-3 no alcanzaron este estado.

La tasa de expresión del superalargamiento fue estadísticamente diferente, de manera significativa, entre los ocho genotipos observados (Figura 11). Esta diferencia se reprodujo en diferentes años y localidades, excepto por la diferencia entre CM 1191-9 y M Col 22, genotipos que en 1981 no pudieron distinguirse estadísticamente.

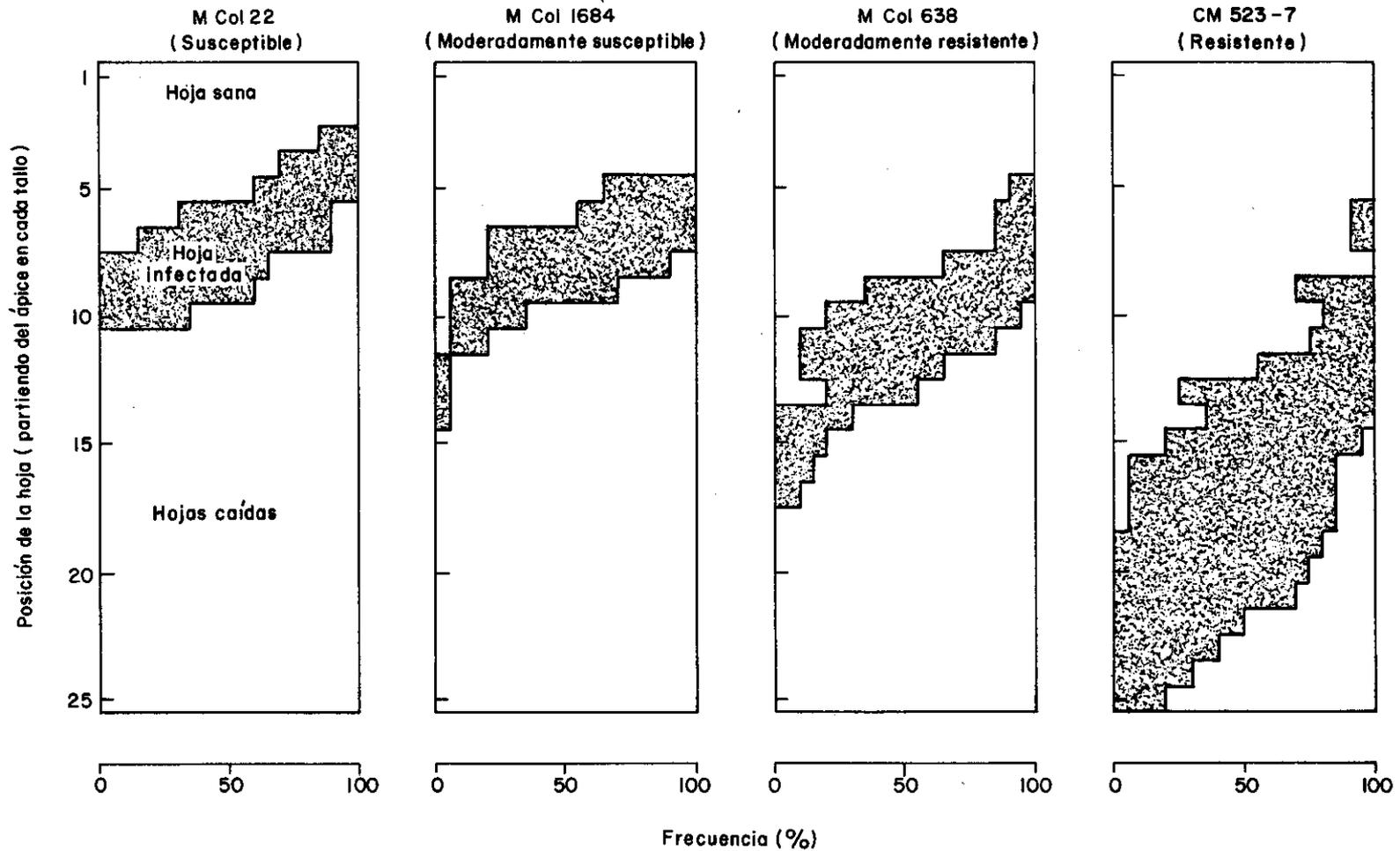


Figura 9. Frecuencia de hojas sanas, infectadas, y caídas, con respecto a diferentes posiciones foliares en genotipos de yuca con resistencia diferencial al CBB (octubre, Carimagua, promedio de 20 tallos).

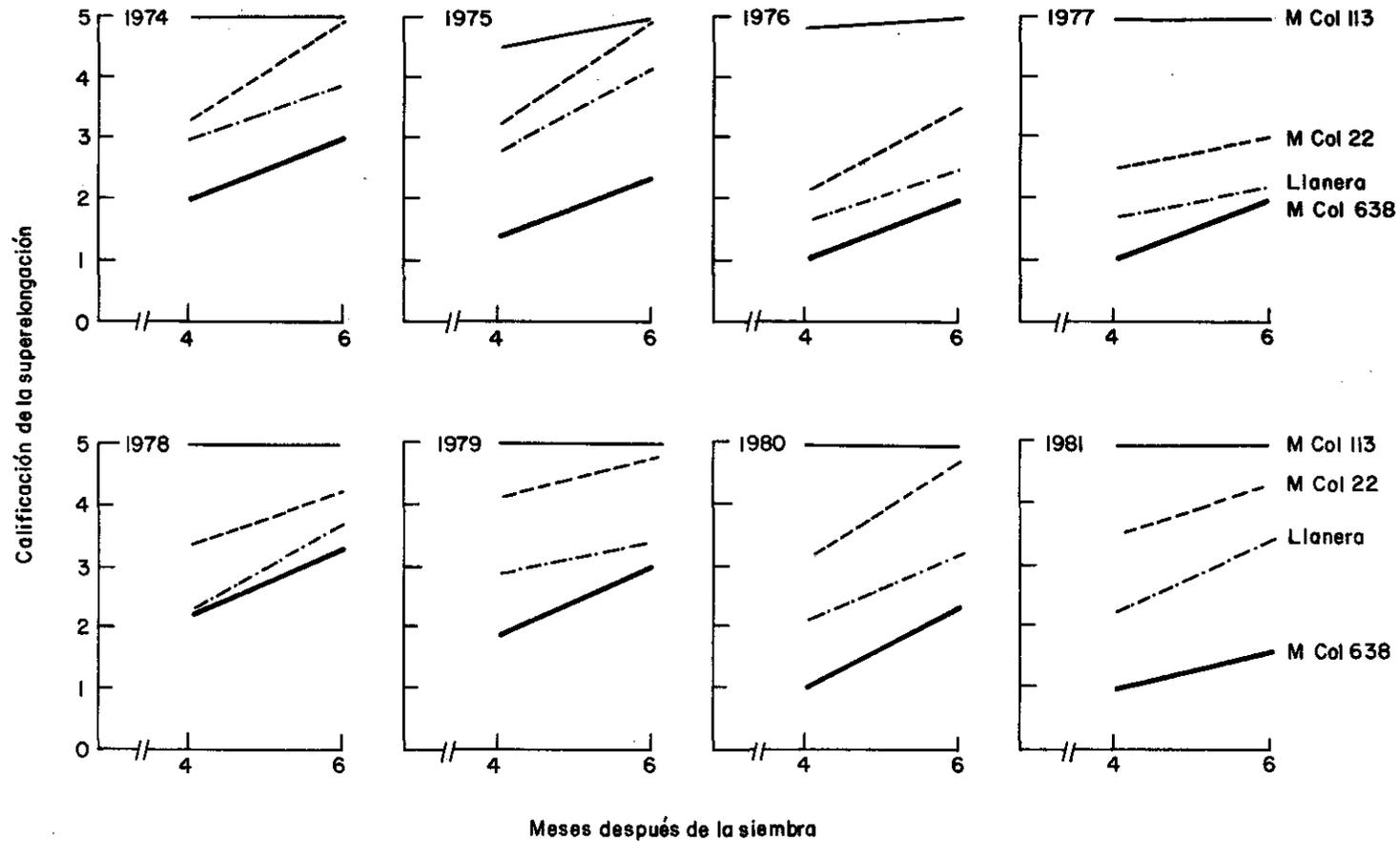


Figura 10. Reacción de cuatro genotipos de yuca al superalargamiento durante la estación lluviosa a lo largo de ocho años en Carimagua (escala de evaluación al superalargamiento: véase Informe Anual 1978, Sección Mejoramiento Varietal).

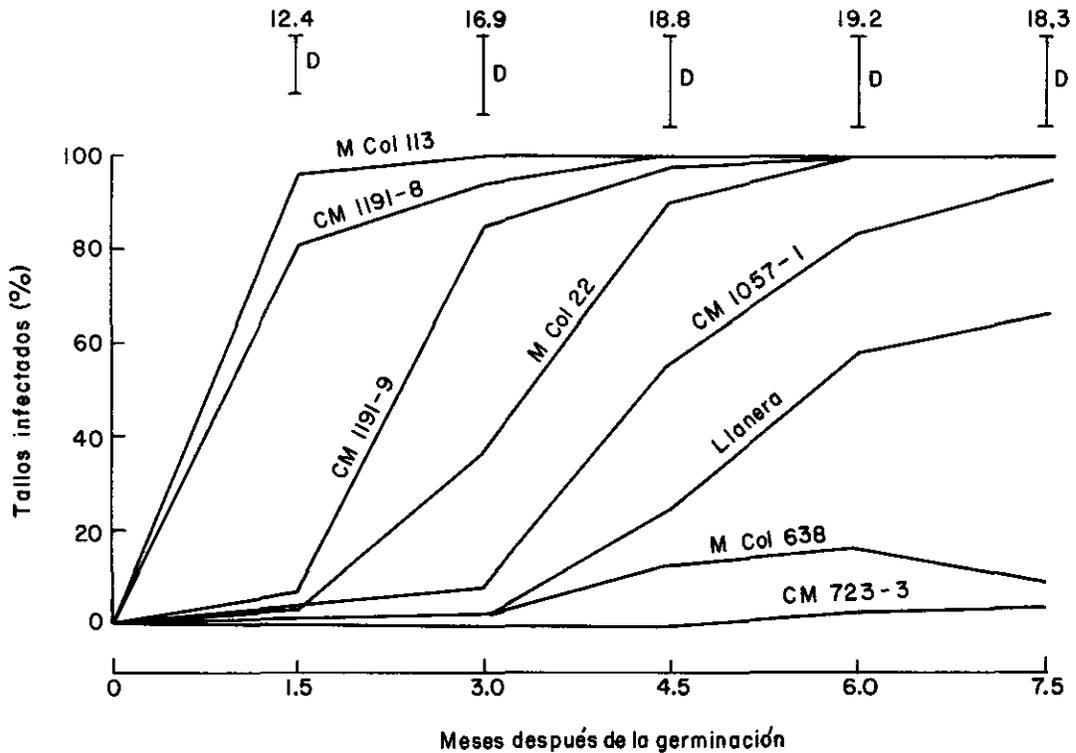


Figura 11. Desarrollo del superalargamiento en diferentes genotipos de yuca en Carimagua (en cada mes de muestreo se presentan los rangos estadísticos de Duncan a un nivel del 5% para comparaciones múltiples).

Algunos genotipos presentaron reacciones a la enfermedad ligeramente diferentes en distintos años y localidades, dando la impresión de una interacción varietal. Sin embargo, esta interacción aparente se ajustó bien dentro del rango del error estadístico en los campos. La mayoría de los clones seleccionados en Carimagua en los últimos años reaccionan al superalargamiento de manera similar a M Col 638 o CM 723-3.

Estos resultados indican que el principal mecanismo de defensa de la yuca a dos de las enfermedades más importantes es la resistencia genética que se caracteriza por el desarrollo lento de la enfermedad, resistencia que se hereda en forma cuantitativa. A pesar de que esto no garantiza en forma absoluta que la resistencia nunca se romperá, se puede asumir que la ruptura de la resistencia es altamente improbable. No es exceso de optimismo esperar que se puedan encontrar tipos similares de resistencia a otras enfermedades y plagas importantes.

Calidad de las estacas de siembra

En Caribia y Carimagua continuaron los trabajos entre estacas de siembra producidas localmente y estacas producidas en CIAT-Palmira, localidad considerada como un ambiente relativamente libre de enfermedades e ideal para la producción de material de siembra. En

Caribia, el rendimiento de M Col 22 con estacas localmente producidas ha sido mayor en aproximadamente un 100% que con las estacas producidas en el CIAT. El resultado fue estadísticamente significativo y se repitió en seis siembras durante cuatro años (Cuadro 2). No hubo diferencias estadísticamente significativas en la germinación entre las dos fuentes de estacas. El rendimiento de CM 342-170 tendió a ser mayor con estacas localmente producidas, pero la diferencia no fue tan marcada como en el caso de M Col 22. Los rendimientos de M Col 1684 han sido altos con estacas tanto locales como del CIAT. M Col 22, CM 342-170 y M Col 1684 se encuentran bien adaptados al ambiente de Caribia. Parte de la razón del comportamiento inferior de las estacas de siembra introducidas puede ser su transporte y su almacenamiento.

En Carimagua, un genotipo altamente susceptible al CBB (M Col 113) no dió estacas viables para la siembra siguiente (Cuadro 3). Los rendimientos de los genotipos susceptibles al CBB (M Col 22 y M Ven 218) fueron inferiores plantando estacas producidas localmente que si se plantan estacas producidas en el CIAT. Los rendimientos de genotipos moderadamente resistentes (Llanera, etc.) tendieron a ser mayores con estacas provenientes del CIAT que con estacas producidas localmente; sin embargo, algunos clones dieron mejor rendimiento con estacas locales que con estacas del CIAT. Los rendimientos de genotipos resistentes al CBB (M Col 638, CM 523-7, etc.) fueron mayores con estacas locales que con estacas producidas en el CIAT. Este resultado es consistente con los resultados de 1980 y es estadísticamente significativo.

Estos hallazgos indican que las mejores estacas de siembra provienen de los genotipos cultivados localmente, los cuales se hallan bien adaptados al ambiente local con buena resistencia a las enfermedades dominantes en dicho ambiente local.

Cuadro 2. Comparación de rendimientos entre estacas de siembra de Carimagua y del CIAT-Palmira en tres genotipos de yuca sembrados en Caribia.

Genotipo	Fuente de estacas	Rendimiento de raíces frescas según fecha de siembra (t/ha)						Promedio (t/ha)
		Mayo 1977	Mayo 1978	Mayo 1979	Oct. 1979	Feb. 1980	Oct. 1980	
M Col 22	Caribia	38	44	22	49	34	41	38.1
	CIAT	17	20	16	29	15	19	19.4
CM 342-170	Caribia		51	25		42	39	39.4
	CIAT		31	21		33	39	31.3
M Col 1684	Caribia			16	33	39	43	32.8
	CIAT			26	57	27	46	38.9

Cuadro 3. Nivel de resistencia al CBB y rendimiento de raíces de plantas provenientes de estacas de Carimagua y CIAT-Palmira, sembradas en Carimagua (siembra de octubre, 1980).

Reacción al CBB	Línea	Rendimiento de raíces frescas (t/ha)	
		Estacas de Carimagua	Estacas de CIAT-Palmira
Altamente susceptible	M Col 113	-- ^a	<u>7.3</u>
	Promedio	-- ^a	7.3
Susceptible	M Col 22	1.7	3.5
	M Ven 218	<u>6.3</u>	<u>8.7</u>
	Promedio	4.0	6.1
Moderadamente resistente	Llanera	5.6	12.5
	M Col 1468	13.5	12.2
	M Col 1684	6.9	12.8
	CM 91-3	11.5	17.7
	CM 507-34	13.2	16.3
	CM 621-251	28.8	27.8
	CM 917-3	18.8	21.1
	CM 962-6	22.2	19.1
	CM 978-28	<u>22.6</u>	<u>26.4</u>
	Promedio	15.9	18.4
Resistente	M Col 638	15.3	7.3
	M Ven 77	12.8	9.4
	CM 523-7	19.4	15.3
	CM 723-3	<u>21.2</u>	<u>17.0</u>
	Promedio	17.2	12.3

a. No hubo estacas disponibles.

Deterioro de cultivares

La yuca se propaga por estacas (estacas de tallo) por medio de las cuales también se pueden diseminar enfermedades e insectos. En el caso de las principales enfermedades y plagas, tales como CBB, superalargamiento, o insectos escamas, ya se ha obtenido información sobre la forma como estas especies se diseminan y dañan las estacas de siembra (véanse las secciones de Patología, Entomología, y Mejoramiento Varietal de informes anuales anteriores). Sin embargo, aún existe la posibilidad de que algunos factores bióticos, aún no bien conocidos, se acumulen durante los ciclos de propagación vegetativa de los cultivares de yuca.

Virtualmente, todas las accesiones del germoplasma son variedades cultivadas y deben haber sido propagadas vegetativamente aun durante cientos de años antes de haber llegado al CIAT. Esta cadena de propagación vegetativa se interrumpe cuando se hacen nuevos clones híbridos por medio de la reproducción sexual; por consiguiente, los nuevos clones híbridos se pueden considerar como materiales "frescos" en contraposición con las accesiones del germoplasma que pueden considerarse como materiales "cansados". Se hicieron comparaciones, en ensayos de rendimiento, entre accesiones del germoplasma escogidas al azar y clones híbridos F_1 no seleccionados de estas accesiones (Cuadro 4). El rendimiento, en promedio, de las poblaciones F_1 fue mayor que el de los progenitores correspondientes en 54 cruzamientos de los 68 estudiados. El rendimiento total, en promedio, de clones F_1 fue un 20% mayor que el del total de accesiones parentales. Aproximadamente un 15% de la diferencia en rendimiento se debió a un mejor índice de cosecha en los clones F_1 , y un 5% de esa diferencia, a un alto peso total de la planta.

Las accesiones del germoplasma pueden haber estado sufriendo un promedio de deterioro en su capacidad de rendimiento del 20% con respecto al que tenían cuando llegaron al CIAT. La yuca es una especie altamente heterocigota; por consiguiente, el mejor rendimiento observado en clones F_1 no parece haber ocurrido por heterosis. Sin embargo, existe la posibilidad de que algún factor genético--como el autocruzamiento en accesiones parentales--ayude a los clones F_1 a dar un mejor rendimiento; por tanto, este 20% se debe interpretar como la media máxima posible. Sin embargo, en algunos cruzamientos, las accesiones parentales solamente dieron un rendimiento del 50% de sus líneas F_1 correspondientes, lo cual indica que, en algunos, el deterioro de un cultivar puede llegar a ser del 50%.

Cuadro 4. Comparación de las características del rendimiento entre accesiones del germoplasma, y sus líneas F_1 correspondientes sin selección.^a

	No. de genotipos	Promedio de peso fresco total de la planta (t/ha)	Índice de cosecha, en promedio	Rendimiento promedio de raíces frescas (t/ha)
Accesiones de germoplasma	71	40.1	0.418	16.8
Híbridos F_1	1026 (68 cruzamientos)	41.9	0.475	20.2

a. Datos obtenidos de un ensayo de hileras individuales sembrado en 1974. Cada accesión parental se repitió en tres hileras.

Selección por factores imprevistos

La parte más difícil de la selección por estabilidad en el tiempo es el hecho de que los fitomejoradores tienen que estar preparados frente a factores actualmente no observados, que pueden presentarse cuando los mejoradores cambian un ecosistema al introducir en él nuevos cultivares y cambiar las prácticas culturales. Además, cualquier intento por cultivar yuca en grandes cantidades como alimento para animales o para su utilización industrial sería una nueva experiencia para el germoplasma de yuca; por consiguiente, hay un nuevo motivo que incita a prepararse cuidadosamente para el nuevo ecosistema que se crearía.

Existen evidencias suficientes para demostrar que se está obteniendo resistencia estable a enfermedades específicas; sin embargo, la situación global se asemeja al caso de un fitomejorador que selecciona por resistencia a una enfermedad de la cual evolucionan nuevas razas fisiológicas cada vez que el fitomejorador desarrolla un nuevo cultivar resistente. Una manera posible de manejar esta situación es la resistencia equilibrada. En lugar de concentrarse en la mayor resistencia a unos pocos factores--lo cual automáticamente limitará el número de genotipos disponibles para su selección por otros factores--el enfoque debe ser seleccionar genotipos que posean resistencia moderada a la mayor cantidad de factores posibles.

Rendimiento Económicamente Válido

Contenido de materia seca de las raíces y calidad culinaria

En los últimos años se ha dado más importancia a la selección por un contenido más alto de materia seca en las raíces. Muchas selecciones nuevas combinan un alto rendimiento de raíces frescas con un alto contenido de materia seca en Caribia (Cuadro 5), Carimagua (Cuadro 6), y CIAT-Palmira (Cuadro 7).

La calidad culinaria es un factor subjetivo. Se considera que está correlacionado positivamente con un alto contenido de almidón, pero hay excepciones a esta regla general. En CIAT-Palmira, la mayoría de las nuevas accesiones presentan una buena calidad culinaria, en tanto que en Carimagua, aquellas líneas con una mejor calidad culinaria que la variedad Llanera son una minoría. En Caribia, ninguna selección híbrida parece haber superado a Venezolana, un cultivar local de rendimiento moderado, famoso por su excelente calidad culinaria.

Deteriorabilidad de las raíces

Una de las principales desventajas de la yuca es su extremada deteriorabilidad. Hay dos fases del deterioro radical después de la cosecha: el deterioro fisiológico (veteado vascular) y el deterioro microbiano (deterioro general) (Informe Anual 1976, Sección de Mejoramiento Varietal; Informe Anual 1978, Sección de Patología). El deterioro fisiológico ocurre de 1-6 días después de la cosecha y el microbiano se presenta después.

Cuadro 5. Selecciones promisorias de evaluaciones hechas en Caribia.

Genotipo	Progenitores (año del cruce)	Rendimiento, promedio, de raíces frescas (t/ha)	Contenido, promedio, de materia seca en raíces (%)
<u>Selección más reciente</u>			
CM 586-1	M Mex 55 x M Pan 114 (1975)	45	36
CM 652-10	M Col 1802 x Llanera (1976)	40	33
CM 681-2	M Ven 185 x M Col 22 (1976)	34	36
CM 728-2	CM 180-5 x M Col 1684 (1976)	31	33
CM 728-3	CM 180-5 x M Col 1684 (1976)	36	32
CM 922-2	M PTR 19 x CM 314-20 (1977)	42	35
CM 955-2	CM 308-37 x M Ven 218 (1977)	39	33
CM 975-1	CM 321-160 x M Col 1292 (1977)	38	33
CM 975-5	CM 321-160 x M Col 1292 (1977)	37	32
CM 976-15	CM 321-160 x M Col 1684 (1977)	52	33
CM 976-18	CM 321-160 x M Col 1684 (1977)	26	27
CM 982-20	CM 321-170 x M Col 1684 (1977)	52	30
<u>Selección más temprana</u>			
CM 342-170	M Col x M Col 1468 (1974)	37	30
CM 523-7	M Col 655A x M Col 1515 (1975)	26	34
M Col 22		32	32
M Col 1468 (CMC 40)		31	26
M Col 1684		36	30
<u>Cultivar local</u>			
Manteca		17	32
Montero		15	34
Venezolana		13	36

Cuadro 6. Selecciones promisorias de evaluaciones hechas en Carimagua.

Genotipo	Progenitores (año del cruce)	Rendimiento, promedio, de raíces frescas (t/ha)	Contenido, promedio, en materia seca en raíces (%)	Evaluación de enfermedades		
				CBB	SA	
<u>Selección más reciente</u>						
CM 621-214	M Col 638 x M Col 1684	(1975)	26	32	MR	MR
CM 621-251	M Col 638 x M Col 1684	(1975)	24	29	MR	R
CM 840-31	M Col 638 x M Ven 218	(1976)	19	33	MR	R
CM 841-168	M Col 638 x M Pan 70	(1976)	21	31	MR	R
CM 946-2	CM 307-37 x CM 429-17	(1977)	28	31	MR	MR
CM 951-6	CM 309-37 x M Col 638	(1977)	23	29	MR	MR
CM 962-6	CM 309-93 x M Pan 70	(1977)	19	29	MR	MR
CM 996-6	CM 323-99 x M Col 638	(1977)	27	28	MR	R
CM 1335-4	CM 462-1 x M Col 1292	(1977)	27	38	R	MR
<u>Selección más temprana</u>						
CM 91-3	M Col 688 x Llanera	(1973)	17	31	MR	S
CM 430-37	Llanera x M Col 647	(1974)	22	33	MR	MR
CM 507-37	Llanera x M Col 1684	(1975)	13	31	MR	MR
CM 517-1	M Col 647 x M Col 1515	(1975)	15	32	R	MR
CM 523-7	M Col 655A x M Col 1515	(1975)	16	36	R	MR
CM 723-3	CM 180-4 x M Col 647	(1976)	18	35	R	R
M Ven 77			17	31	R	R
<u>Cultivar local</u>						
Llanera			11	31	MR	MR
M Col 638			14	29	R	MR

a. CBB = añublo bacteriano común; SA = superalargamiento. Las calificaciones son: R = resistente; MR = moderadamente resistente; S = susceptible.

Cuadro 7. Algunos resultados de un ensayo de rendimiento en CIAT-Palmira (siembra de abril, 1980).

Genotipo	Progenitores (año del cruce)	Rendimiento de raíces frescas (t/ha)	Contenido de materia seca en raíces (%)
<u>Selección más reciente</u>			
CM 847-9	SM 76-66 x M Col 1684 (1976)	58	34
CM 883-1	M Mex 14 x CM 314-20 (1977)	65	37
CM 903-4	M Ven 218 x CM 309-37 (1977)	51	38
CM 930-6	M Ptr 26 x CM 314-20 (1977)	56	36
CM 981-8	CM 321-170 x M Col 1292 (1977)	54	42
CM 1006-5	CM 323-142 x M Col 1684 (1977)	64	34
CM 1014-2	M Col 22 x M Col 655A (1977)	59	37
CM 1015-42	M Col 22 x M Col 1684 (1977)	53	34
CM 1016-12	M Col 22 x M Mex 11 (1977)	70	36
CM 1016-31	M Col 22 x M Mex 11 (1977)	59	39
CM 1022-4	M Col 22 x CM 416-2 (1977)	53	40
CM 1022-6	M Col 22 x CM 416-2 (1977)	64	38
CM 1073-2	M Ven 218 x M Col 22 (1977)	59	35
CM 1134-1	CM 309-93 x CM 309-303 (1977)	52	38
CM 1305-3	CM 446-22 x M Col 1684 (1977)	55	34
<u>Selección más temprana</u>			
CM 91-3	M Col 688 x Llanera (1973)	49	36
CM 305-41	M Col 113 x M Col 22 (1973)	58	34
CM 321-188	M Col 22 x M Ven 270 (1974)	48	36
CM 489-1	M Col 882 x M Ven 270 (1975)	62	30
M Ven 218		41	33
<u>Testigo</u>			
Llanera		28	32
M Col 22		36	38
M Col 113		22	29

El deterioro fisiológico se correlaciona positivamente con el contenido de materia seca de las raíces. La correlación ha sido altamente significativa y consistente en distintos años, con diferentes genotipos (Cuadro 8). Dado el error estadístico, relativamente grande, asociado con la medición del deterioro fisiológico en un gran número de genotipos, se espera que la correlación sea mucho más estrecha en la naturaleza que aquella que se podría interpretar con los coeficientes de correlación presentados en el Cuadro 8. Por consiguiente, mediante el mejoramiento genético debe ser difícil--si no imposible--combinar un alto contenido de materia seca en las raíces con una baja deteriorabilidad de las mismas.

Cuadro 8. Relación entre el veteado vascular y el contenido de materia seca de las raíces, en diversos ensayos de rendimiento en el CIAT.

Tipo de ensayo de rendimiento	Fecha de siembra	Número de genotipos evaluados	Coefficiente de relación entre el veteado vascular y el contenido de materia seca
<u>Ensayo repetido</u>	Oct. 1974	218	0.53**
	Sept. 1976	225	0.58**
	Sept. 1977	327	0.50**
	Abr. 1978	225	0.37**
	Ene. 1979	291	0.73**
	Abr. 1979	249	0.61**
	Oct. 1979	201	0.80**
	Abr. 1980	286	0.33**
	Oct. 1980	270	0.42**
<u>Ensayo de una sola hilera</u>	Abr. 1979	204	0.59**
	Oct. 1979	285	0.42**
	Abr. 1980	361	0.52**
	Sept. 1980	145	0.48**

** Significativo a un nivel del 0.05%.

Contenido de cianuro

El contenido total de cianuro en las raíces se correlaciona negativamente con el contenido de materia seca de las raíces (Cuadro 9), con el deterioro fisiológico (Cuadro 10), y con el deterioro microbiano (Cuadro 11). Entre más alto sea el contenido de HCN de las raíces, menor será el contenido de materia seca y la deteriorabilidad de las mismas. Las correlaciones fueron altamente consistentes para diferentes grupos tanto de años de siembra como de genotipos. Sin embargo, las correlaciones individuales fueron bajas y puede ser posible seleccionar genotipos que se desvíen de la correlación general.

Esta información permite visualizar genotipos con raíces de un alto contenido de materia seca, un bajo contenido de HCN, una alta deteriorabilidad, y una buena calidad culinaria con un tipo de yuca típico para el mercado fresco.

Si se considera la yuca como alimento para animales o como materia prima industrial, se requiere una definición más precisa sobre el equilibrio entre estas características de las raíces.

Cuadro 9. Contenido, en promedio, de materia seca en las raíces a diferentes niveles del cianuro de las raíces de yuca.

Tipo de ensayo de rendimiento	Fecha de siembra	Número de genotipos evaluados	Contenido de materia seca (%) a un puntaje de HCN en las raíces de:					Coeficiente de regresión
			1	2	3	4	5	
<u>Ensayo repetido</u>	Oct. 1974	218	37.0	36.4	36.9	36.2	35.6	-0.30
	Sept. 1976	225	37.8	35.4	35.1	34.2	34.4	-0.80
	Sept. 1977	327	37.1	37.3	36.2	36.0	34.6	-0.63
	Abr. 1978	225	34.0	34.3	33.7	33.6	31.2	-0.63
	Ene. 1979	291	37.1	36.4	35.9	35.6	33.7	-0.76
	Jun. 1979	249	36.7	36.2	34.8	35.5	35.5	-0.31
	Oct. 1979	201	36.1	35.1	34.1	33.0	32.8	-0.87
	Abr. 1980	286	33.8	33.0	32.7	31.9	31.4	-0.59
Oct. 1980	270	33.7	32.9	32.5	31.7	30.0	-0.86	
<u>Ensayo de una sola hilera</u>	Mar. 1979	204	34.2	34.5	33.5	32.9	31.4	-0.72
	Oct. 1979	285	35.7	35.2	34.4	33.6	32.7	-0.76
	Mar. 1980	361	33.9	32.9	33.1	32.2	31.7	-0.51
	Sept. 1980	145	34.4	32.6	33.9	32.5	33.7	-0.15

a. HCN total en parénquima: 1 = 0-25 ppm (ppm de peso fresco); 2 = 25-50 ppm; 3 = 50-80 ppm; 4 = 80-120 ppm; 5 = más de 120 ppm, aproximadamente.

Cuadro 10. Calificación, en promedio, del veteado vascular a diferentes niveles del cianuro de las raíces de yuca.

Tipo de ensayo de rendimiento	Fecha de siembra	Número de genotipos evaluados	Tasa de veteado vascular ^a , a puntajes de HCN en las raíces de: ^b					Coeficiente de regresión
			1	2	3	4	5	
<u>Ensayo repetido</u>	Oct. 1974	218	2.50	2.64	2.48	2.40	1.90	-0.14
	Sept. 1976	225	3.78	3.34	3.10	2.82	2.99	-0.21
	Sept. 1977	327	3.59	3.62	3.43	3.37	2.92	-0.16
	Abr. 1978	225	2.75	2.72	2.55	2.62	2.39	-0.08
	Ene. 1979	291	2.67	2.36	2.20	2.10	1.24	-0.31
	Jun. 1979	249	2.62	2.53	2.13	2.33	2.41	-0.06
	Oct. 1979	201	2.85	2.27	1.92	2.03	1.42	-0.31
	Abr. 1980	286	2.27	2.13	2.01	1.71	1.39	-0.22
	Oct. 1980	270	2.32	2.18	1.82	1.42	1.36	-0.27
<u>Ensayo de una sola hilera</u>	Mar. 1979	204	2.34	2.13	1.66	1.72	1.02	-0.31
	Oct. 1979	285	2.12	1.40	1.45	1.17	1.09	-0.23
	Mar. 1980	361	1.52	1.24	1.10	0.82	0.81	-0.18
	Sept. 1980	145	1.51	1.53	1.31	1.13	0.87	-0.17

a. 0 = sin veteado vascular; 4 = vetado vascular en todas las partes de la raíz (1 semana después de la cosecha).

b. Igual que en el Cuadro 8.

Cuadro 11. Deterioro general de las raíces a diferentes niveles de cianuro en las raíces de yuca.

Tipo de ensayo de rendimiento	Fecha de siembra	Número de genotipos evaluados	Deterioro general de las raíces ^a , con puntajes de HCN en las raíces de: ^b					Coeficiente de regresión
			1	2	3	4	5	
<u>Ensayo repetido</u>	Sept. 1976	225	3.84	3.21	3.14	3.02	3.15	-0.16
	Jun. 1979	249	3.03	2.85	2.82	2.94	2.93	-0.01
	Oct. 1979	201	3.61	3.28	3.37	3.25	3.06	-0.11
	Abr. 1980	286	2.34	2.03	2.20	1.76	1.45	-0.21
	Oct. 1980	270	3.00	2.72	2.64	2.38	1.95	-0.24
<u>Ensayo de una sola hilera</u>	Mar. 1979	204	1.89	1.98	1.25	1.52	0.87	-0.25
	Mar. 1980	361	1.95	2.24	1.93	1.78	1.24	-0.19
	Sept. 1980	145	2.54	2.14	1.60	1.63	1.29	-0.30

a. 0 = sin deterioro general; 4 = todas las raíces deterioradas (2 semanas después de la cosecha).

b. Igual que en el Cuadro 8.

Facilidad para la cosecha

Existen diferencias varietales considerables en lo que respecta a la facilidad de cosechar la yuca. M Col 22, M Col 1468 (CMC-40), CM 342-170, y CM 523-7 son ejemplos de cultivares de fácil cosecha, en tanto que Llanera, M Col 113, M Col 1684 y M Ven 218 son ejemplos de cultivares de cosecha difícil. La yuca cultivada en CIAT-Palmira es generalmente más difícil de cosechar que en muchas otras regiones; por consiguiente, CIAT-Palmira es una buena localidad para seleccionar por facilidad de cosecha. Muchas de las selecciones nuevas son del tipo de cosecha fácil. Falta analizar las consecuencias biológicas del carácter conocido como cosecha fácil.

Producción y Distribución de Semillas Híbridas

En los últimos años la capacidad del CIAT para producir semilla híbrida ha aumentado. En el proceso de selección se utilizan aproximadamente 30,000 semillas al año y cerca de 20,000 semillas más se envían a programas nacionales que colaboran en el mejoramiento genético de yuca. La gran mayoría de estas semillas provienen de polinizaciones controladas. Los resultados de selecciones hechas en paquetes de semillas anteriores indican que los materiales de semilla del CIAT son aportes útiles a los programas nacionales de mejoramiento genético que ofrecen oportunidades inmediatas para la selección varietal en muchos casos. Los recientes paquetes de semillas destinadas a los programas nacionales incluyen semillas híbridas de clones tales como M Col 1684, CM 91-3, CM 342-170, CM 507-37, CM 523-7 y CM 681-2 (véase la Sección de Cooperación Internacional).