

18.131

SERVICIOS DE DOCUMENTACIÓN

DETERIORACIÓN POSTCOSECHA Y ALMACENAMIENTO DE RAÍCES DE YUCA

Christopher Wheatley ^{1/}
Carlos Lozano
Guillermo Gómez

Introducción

La yuca es uno de los cultivos básicos de las regiones tropicales y constituye más del 50% de la producción total de raíces y tubérculos de estas regiones (Booth, 1974). La producción mundial de yuca en 1980 alcanzó un total de 122 millones de toneladas (FAO, 1981). Se ha estimado (Phillips, 1974) que la yuca aporta el 39, 12 y 7% de los requerimientos calóricos en la alimentación de las poblaciones de África, América Latina y el Lejano Oriente, respectivamente. Una de las mayores limitaciones para aumentar el consumo de la yuca en alimentación humana es el corto tiempo de conservación de las raíces después de la cosecha; las raíces se deterioran rápidamente, disminuyendo su calidad y por tanto se hacen inaceptables para el consumo humano y para otros usos.

Durante los últimos años varias entidades nacionales e internacionales han realizado investigaciones orientadas a determinar las causas del deterioro postcosecha de las raíces de yuca. Además se han efectuado trabajos destinados a disminuir la perecibilidad de las raíces mediante tratamientos pre- y postcosecha y a desarrollar sistemas o prácticas de almacenamiento de las raíces.

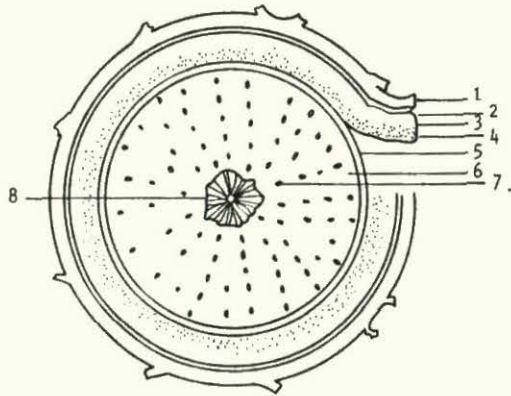
El presente trabajo revisará someramente los diferentes aspectos relacionados con la deterioración postcosecha de la yuca, los factores que afectan la deterioración, los tratamientos para extender la durabilidad de las raíces y las prácticas de almacenamiento de las mismas.

Deterioración postcosecha

La parte más importante de una raíz de yuca la constituye la pulpa o parénquima que está básicamente constituida de haces xilógenos (vasos de xilema) distribuidos en forma de estrías y en los cuales se concentra el almidón de la raíz. En el centro de la raíz se encuentra el xilógeno fibroso central mientras que en la periferia de la raíz se localiza la corteza o cáscara constituida de capas superpuestas de tejidos corchosos, fibras esclerenquimatosas, vasos con látex y cámbium (Figura 1).

Los síntomas de deterioración de las raíces de yuca aparecen durante los 3 primeros días después de la cosecha y se manifiestan por cambios de coloración en los tejidos parenquimáticos y los haces xilógenos. Estos úl-

^{1/} Postdoctoral Fellow, Wye College, London University. Tropical Products Institute (T.P.I.) - CIAT Proyecto Cooperativo de Almacenamiento de raíces de yuca, Fitopatólogo y Bioquímico/Nutricionista, respectivamente, del Programa de Yuca.



- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 Periderma o cascarilla | 5 Cábium |
| 2 Esclerenquima | 6 Parénquima (almacenamiento de almidón) |
| 3 Parénquima cortical | 7 Vaso de xilema |
| 4 Floema
(1 a 4 = cáscara) | 8 Haces xilógenos y fibras |

FIGURA 1. SECCION TRANSVERSAL DE UNA RAIZ DE YUCA
(HUNT ET AL., 1977)

timos adquieren tonos azulados o azul-oscuro para luego pasar a coloración café o marrón, en forma de estrías vasculares que se pueden observar en secciones longitudinales de las raíces (Montaldo, 1973). Las estrías pueden llegar a tener un color negro, causado por el oscurecimiento de las paredes celulares de los haces xilómicos y por la aparición de oclusiones de origen parenquimático dentro de ellas mismas (Rickard, 1982). Los cambios de coloración pueden extenderse a las células parenquimáticas, las cuales presentan un tinte azulado (Averre, 1967) y también pueden mostrar síntomas de desecación.

El inicio y el grado posterior de la deterioración de las raíces está estrechamente relacionado con la presencia de daños mecánicos, los cuales son normalmente ocasionados al momento de la cosecha. Algunas características varietales (longitud de las raíces, presencia de pedúnculos largos, etc.), la textura y grado de compactación del suelo y las formas de cosecha (manual o mecánica) son algunos de los factores que afectan la incidencia de los daños mecánicos en las raíces (Cock et al., 1978). Las áreas distal y proximal de las raíces son las más propensas a sufrir daños mecánicos. La mayor o menor adherencia de la cáscara de la raíz al parénquima puede igualmente afectar la susceptibilidad a los daños mecánicos durante la cosecha y el transporte posterior de las raíces. Por estas razones, los primeros síntomas de deterioración de las raíces se presentan normalmente debajo de las áreas donde se ha dañado o perdido la cáscara, o en los extremos distal o proximal.

Además de los cambios en la coloración, las raíces pueden también ser atacadas por microorganismos que producen pudrición a los 5-7 días después de la cosecha (Booth, 1976; Lozano et al., 1978). En estos casos también se presenta el fenómeno del estríado azul/negro que se extiende desde el margen de las regiones podridas en forma similar al deterioro producido por daños mecánicos.

Las investigaciones realizadas hasta la fecha han permitido definir dos clases de deterioración, las cuales han sido denominadas primaria y secundaria (Booth, 1974, 1976; Rickard and Coursey, 1981). La deterioración primaria o fisiológica se manifiesta normalmente con la presencia de las estrías azul-negras o marrones, con mayor intensidad alrededor de la periferia de la corteza. La deterioración secundaria o microbiana ocurre después de la deterioración primaria e implica pudrición microbiana causada por varios hongos y bacterias, los cuales actúan como patógenos de las heridas.

Las dos clases de deterioración son ilustradas en la Figura 2, en la cual puede observarse que en la deterioración primaria o fisiológica los tejidos afectados forman un anillo de estrías y células desecadas cerca de la periferia del parénquima, mientras que esta distribución de estrías no se observa en las raíces podridas y más bien se nota una maceración de los tejidos en las áreas afectadas por la deterioración microbiana (Lozano et al., 1978).

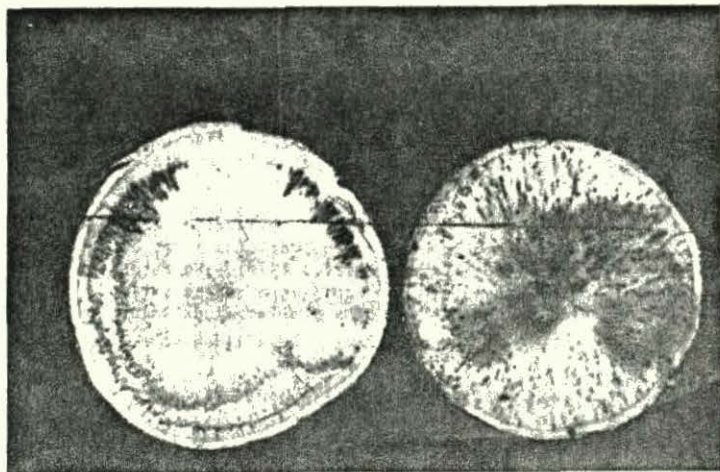


FIGURA 2. DETERIORACION FISIOLÓGICA (PRIMARIA) Y MICROBIAL (SECUNDARIA) DE RAICES DE YUCA.

Ha sido ampliamente demostrado que las dos clases de deterioración son debidas a procesos distintos (Averre, 1967; Passan y Noon, 1977; Noon y Booth, 1977). No ha sido posible aislar microorganismos de los tejidos afectados por deterioración fisiológica mientras que en el caso de la deterioración microbial se han podido aislar hongos de los géneros Penicillium, Aspergillus, Rhizopus, Fusarium, etc.

Evaluación de la susceptibilidad a la deterioración fisiológica

La perecibilidad de las raíces de yuca es una de las limitantes más importantes en el mercadeo y comercialización de las raíces de yuca. Por lo tanto, es importante evaluar el grado de susceptibilidad de las raíces a la deterioración postcosecha y para ello es necesario estandarizar algunos factores tales como controlar el nivel de daño mecánico durante la cosecha y el posterior transporte, evitar la contaminación microbial y asegurar condiciones adecuadas de almacenamiento de las raíces.

Un método subjetivo, basado en los trabajos de Marriott y colaboradores (1978), para evaluar la susceptibilidad de las raíces de yuca a la deterioración fisiológica ha sido recientemente desarrollado por el Proyecto Cooperativo CIAT/TPI. El detalle de esta metodología se describe a continuación:

- 1) Seleccionar raíces comerciales de tamaño medio con un mínimo de 18 cm de longitud, sin daños mecánicos y sin pudrición precosecha.
- 2) Descartar los extremos distal y proximal cortándolos con un cuchillo, de forma de dejar la sección de la raíz de 15 cm de largo.
- 3) Cubrir el lado distal de la sección de 15 cm con una película de PVC (plástico de cloruro de polivinilo) para mantener la humedad y evitar que el deterioro fisiológico comience desde esta superficie (Fig. 3). De esta forma la deterioración se desarrollará solamente desde el extremo proximal.
- 4) Almacenar las raíces en un lugar protegido del sol y de la lluvia, pero expuesto al aire libre. No se recomienda almacenar en bolsas por los cambios de humedad ambiental que se producen y alteran la reacción postcosecha de las raíces.
- 5) Evaluar después de tres días de almacenamiento para evitar la contaminación microbial que podría presentarse si la evaluación se hiciera más tarde. La evaluación consiste en lo siguiente:
 - a. Cortar transversalmente secciones a los 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 cm a partir del extremo proximal. Se obtendrá un total de 7 secciones a evaluarse.
 - b. Asignar valores numéricos de acuerdo a una escala de 0 a 10 a la superficie proximal de cada corte. Los valores de la escala corresponden 0 a 0% de la superficie deteriorada; 1 a 10%, 2 a

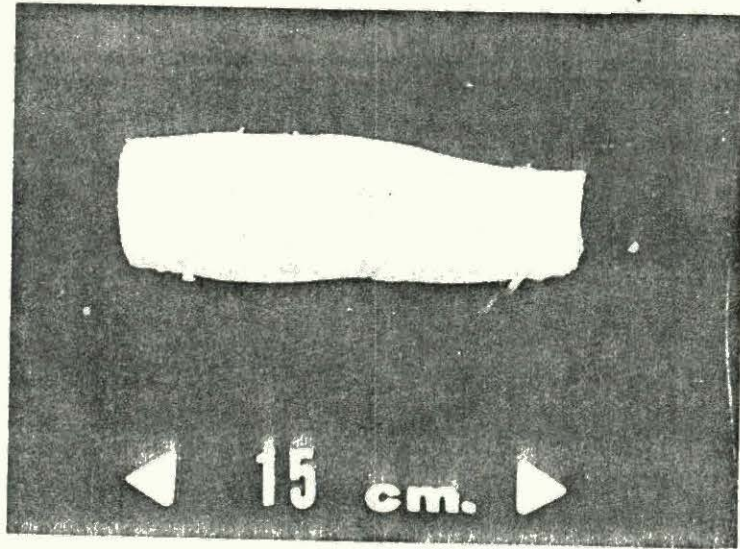


FIGURA 3. SECCION DE UNA RAIZ DE 15 CM DE LARGO, UTILIZADA EN LA EVALUACION DE LA DETERIORACION.

20% y así sucesivamente hasta 10 que corresponde a 100% de la superficie deteriorada. Normalmente se considera el área periférica de los cortes transversales ya que el centro de la raíz raramente se deteriora (Fig. 4 a, b).

La deterioración se inicia desde el extremo proximal de la sección de la raíz con 15 cm de longitud. Las raíces con mayor susceptibilidad al deterioro fisiológico mostrarán las estrías características de esta clase de deterioración hasta las secciones más alejadas del extremo proximal. Las raíces con menor susceptibilidad al deterioro fisiológico mostrarán los síntomas de la deterioración en las secciones cercanas al extremo proximal pero pocos o ningún síntoma en las secciones distantes de dicho extremo.

Es necesario evaluar entre 10 a 20 raíces de cada tratamiento o variedad y obtener el promedio de la suma total de los valores en las 7 secciones evaluadas. El deterioro máximo posible será de 70 (100% de superficie deteriorada o sea valor 10 de la escala para cada sección); el promedio de la suma total de valores puede por tanto expresarse como un porcentaje (70 = 100%) y esta expresión constituye el "Porcentaje de Deterioración" (Wheatley, 1982).

El Cuadro 1 muestra los resultados típicos obtenidos al aplicar esta metodología de evaluación de la deterioración fisiológica en raíces de dos variedades, MCol 22 y MCol 113. Puede observarse que las raíces de la variedad MCol 22 muestran mayor susceptibilidad a deterioración que las de la variedad MCol 113.

La evaluación de la deterioración tanto fisiológica como microbial requerirá de observaciones de raíces enteras por 1-2 semanas después de la cosecha y se deberá igualmente estandarizar las condiciones requeridas para extrapolar los resultados a situaciones reales.

Causas de la deterioración fisiológica

Los mecanismos responsables de la deterioración fisiológica de las raíces han sido poco estudiados, pero en los últimos años las investigaciones sobre este tópico han permitido aumentar los conocimientos que sugieren se trata de reacciones bioquímicas bastante complejas.

Tratamientos aplicados a las raíces después de la cosecha tales como inmersión en agua caliente (Averre, 1967), conservación a bajas temperaturas (Averre, 1967; Montaldo, 1973), almacenamiento en aire con bajo nivel de oxígeno o en un ambiente de gas carbónico (CO_2) (Noon y Booth, 1977) evitan el desarrollo de la deterioración de las raíces y sugieren la participación de enzimas como las peroxidasas (Czyhrinciw y Jaffe, 1951) en el proceso. La actividad total de las peroxidasas se incrementa después de la iniciación de la deterioración de las raíces de yuca (Marriott et al., 1980).

Algunas condiciones ambientales tales como la temperatura y la humedad relativa afectan la deterioración fisiológica, especialmente con la presencia de daños mecánicos (Marriott et al., 1978, 1979). Raíces de yuca con

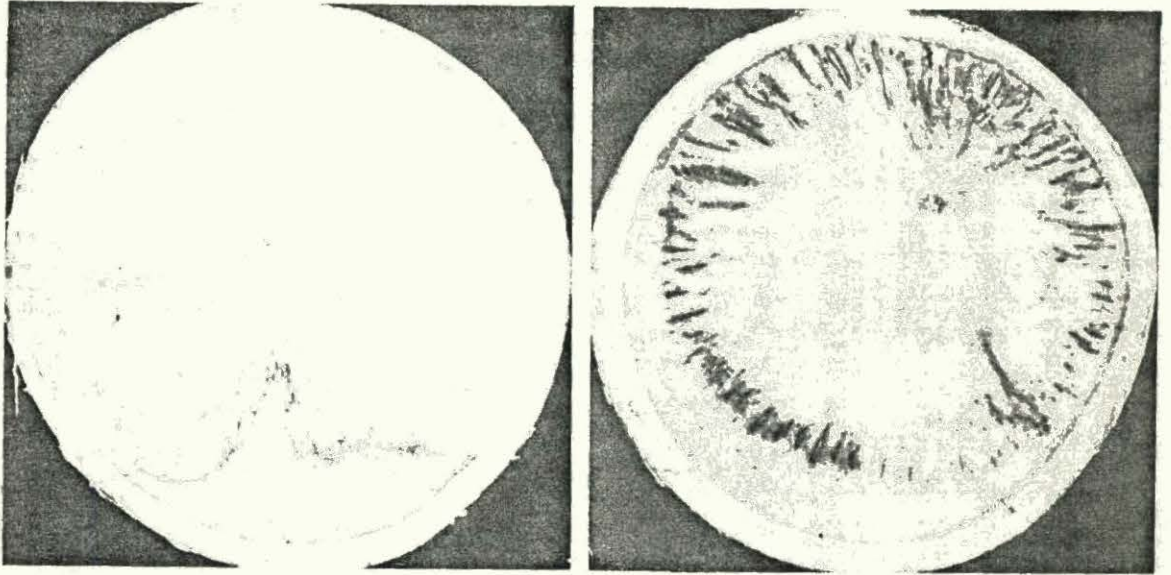


FIGURA 4. CORTES TRANSVERSALES DE RAÍCES DE YUCA MOSTRANDO GRADOS DE 2 (A) Y 10 (B) DE DETERIORACIÓN FISIOLÓGICA.

Cuadro 1. Comparación de la susceptibilidad a la deterioración fisiológica en raíces de dos variedades de yuca.

Cultivar	Días después de cosecha	Distancia del extremo proximal en cm							Porcentaje de deterioración
		2	4	6	8	10	12	14	
MCol 22	1	0 ^{1/}	0	0	0	0	0	0	0
	2	9	9	8	7	6	3.5	1.75	63.2
	3	10	10	9.75	9.5	8.75	8	5.50	87.9
	4	9.75	9.75	7	6.75	5.75	4.75	2.25	62.5
MCol 113	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	4	3.5	2.25	0	0	0	0	13.9
	3	8	4.75	1.50	0.25	0	0	0	20.7
	4	7	3.75	2.50	1.75	1.75	1.75	0	28.9

^{1/} Promedio de secciones de 4 raíces evaluadas sobre una escala de 0 a 10.

daños mecánicos mantenidas en un ambiente de baja humedad (65-80%) se deterioran más rápidamente que las mantenidas en un ambiente saturado de humedad (100% humedad relativa). La respiración de los tejidos se mantuvo a un nivel más alto en un ambiente de baja humedad. Estos resultados demuestran los efectos críticos de la pérdida de agua resultante de los daños mecánicos en las raíces.

Estudios citológicos y observaciones con el microscopio electrónico han demostrado que los cambios de coloración constituyen una respuesta de los tejidos de la raíz a daños o heridas que no quedan localizadas sino que se extienden rápidamente a lo largo de la raíz (Rickard, 1982). La respuesta inicial se manifiesta como una oclusión de los haces xilógenos y la producción de compuestos fluorescentes en el parénquima. Las oclusiones contienen carbohidratos, lípidos y compuestos parecidos a la lignina. En las etapas iniciales se encuentran además fenoles libres, leucoantocianinas y catequinas en los haces xilógenos del parénquima. Los pigmentos parecen ser taninos condensados derivados de estos compuestos (Rickard, 1982).

El compuesto con mayor fluorescencia ha sido identificado como escopoletina, una cumarina (Rickard, 1982; Wheatley, 1982), el cual se encuentra en muy bajas concentraciones en las raíces frescas pero aumenta considerablemente (de < 1.0 a > 250 $\mu\text{g/g}$ de materia seca) a las 24 horas después de la cosecha (Wheatley, 1982). Este drástico incremento permite visualizar la escopoletina en los tejidos mismos bajo luz ultravioleta debido a su fluorescencia. La aplicación de la escopoletina en tejidos frescos induce rápidamente los síntomas de deterioración fisiológica. Las raíces resistentes a la deterioración fisiológica acumulan menos escopoletina que las raíces susceptibles (Wheatley, 1982).

A pesar del avance en el conocimiento de la deterioración postcosecha aún no se han podido identificar los mecanismos bioquímicos que conducen a la formación de escopoletina y la aparición de deterioración.

Factores que afectan la susceptibilidad a la deterioración fisiológica

a. Diferencias varietales

Evaluaciones de la susceptibilidad al deterioro fisiológico de distintas variedades de yuca han mostrado una amplia diferencia (Montaldo, 1973; Pereira, 1977; CIAT, 1976, 1977; Lozano et al., 1978). De 65 cultivares evaluados Montaldo (1973) encontró que 2 no mostraban deterioro a los 7 días después de la cosecha, 11 mostraron deterioro mínimo, 45 presentaron susceptibilidad intermedia y 7 fueron muy susceptibles. Las evaluaciones del banco de germoplasma del CIAT de la durabilidad de las raíces 7 días después de cosechadas han mostrado igualmente un amplio rango de valores para las dos clases de deterioración (CIAT, 1976, 1977). En estos estudios se ha encontrado una correlación positiva entre el contenido de materia seca de las raíces y el grado de deterioración, lo cual dificulta el mejoramiento genético de ambas características simultáneamente.

Además de la variación inter-varietal existen variaciones intra-varietales. La Figura 5 muestra los resultados de las evaluaciones de 4 variedades efectuadas en el CIAT en el período 1979-1980. Se observa que el porcentaje de deterioración en las raíces de la variedad MCol 22 varía desde menos de 20% hasta más de 90%, lo cual demuestra que esta variedad podría ser susceptible o resistente según las condiciones de cosecha. También las otras tres variedades, normalmente consideradas como resistentes, resultaron a veces susceptibles. Por lo tanto, mientras los factores genéticos no sean los únicos que determinen la susceptibilidad o resistencia de una variedad dada, es difícil expresar el grado de susceptibilidad absoluta de las variedades de yuca estudiadas.

b. Condiciones edafoclimáticas (ecosistemas)

Evaluaciones de deterioración postcosecha de varios cultivares en cinco lugares de Colombia con diferentes condiciones edafoclimáticas han demostrado el efecto de estas condiciones sobre la susceptibilidad a la deterioración (Cuadro 2). El porcentaje de deterioración de cada variedad fue significativamente diferente en los lugares estudiados. Mientras que en CIAT-Palmira y en Popayán se observó un amplio rango del grado de deterioración entre las variedades evaluadas, el nivel de deterioro de cada variedad fue considerablemente menor en la Costa Norte y todas las variedades se comportaron como resistentes al deterioro en Carimagua. Observaciones de las raíces aún a los 6 días después de la cosecha en Carimagua no variaron los resultados de las evaluaciones a los 3 días.

En este estudio se encontró una correlación positiva entre la materia seca de las raíces y la deterioración fisiológica solamente en CIAT y Popayán, los dos lugares en donde hubo alto grado de deterioración de las raíces (Cuadro 3). Sin embargo, la correlación no fue significativa en los otros tres lugares en donde el grado de deterioración fue mínimo.

Aunque un determinado cultivar o variedad puede considerarse susceptible o resistente a la deterioración de las raíces en un lugar determinado, su comportamiento puede variar en el transcurso del año posiblemente como consecuencia de los cambios de las condiciones climáticas. El Cuadro 4 muestra los resultados de las evaluaciones de 6 variedades (3 locales o nativas y 3 foráneas) en Popayán; las variedades locales mostraron mayor susceptibilidad a la deterioración postcosecha que las variedades foráneas y la deterioración fue mayor en Septiembre que en las otras épocas de cosecha.

Observaciones realizadas en el transcurso de estos estudios indicaban que las plantas de variedades más afectadas por los llamados factores negativos a la producción (FNP) (Lozano et al., 1980) tales como ataques de insectos, enfermedades, sequía, etc., presentaban un mayor nivel de defoliación pero eran más resistentes a la deterioración fisiológica de las raíces (Wheatley, 1982). Estas evidencias indirectas implican que los FNP que durante los períodos previos a la cosecha producen defoliación de las plantas y consecuentemente reducciones de la producción de raíces y del contenido de materia seca de las mismas, inducen por otro lado resistencia

NUMERO DE EVALUACIONES

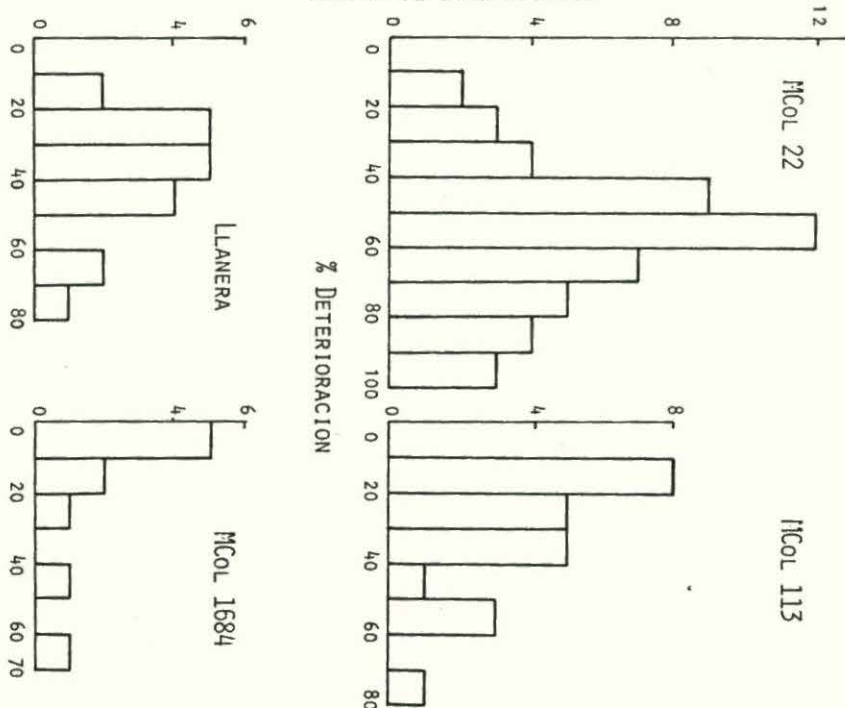


FIGURA 5. RESULTADOS DE EVALUACIONES DE DETERIORACION HECHAS EN EL CIAT ENTRE 1979 Y 1980 EN CUATRO VARIETADES DE YUCA.

Cuadro 2. Resultados representativos de las evaluaciones de deterioración en cinco lugares de Colombia (1980).

Cultivar	CIAT-Palmira (Valle del Cauca)	Popayán (Cauca)	Medía Luna (Costa Norte)	Caribia (Costa Norte)	Carimagua (Llanos Orientales)
	% de deterioración				
MCol 22	90.1	3.8	1.4	1.7	0.0
MCol 72	50.2	2.3	1.4	1.1	4.0
MCol 1684	12.7	3.6	1.3	6.5	1.6
MPan 19	5.7	30.9	2.5	26.9	0.1
CM 305-122	69.9	62.9	3.7	2.9	0.3
CM 305-120	32.4	9.3	1.8	1.7	0.0
MVen 77	3.0	24.7	1.6	6.9	0.3
MPan 114	2.1	5.9	0.4	1.0	0.0
Sata Dovio ^{1/}	12.6	72.0	2.7	0.2	0.0
Secundina ^{2/}	58.6	- ^{3/}	1.9	24.0	- ^{3/}

^{1/} Variedad local de Popayán.

^{2/} Variedad local de la Costa Norte.

^{3/} No produjo raíces.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre deterioración y contenido de materia seca en diferentes lugares.

Lugar	n	Coefficiente de correlación, r	Nivel de significancia
CIAT-Palmira	26	0.68	0.1%
Popayán	23	0.56	1.0%
Media Luna	26	0.34	ns
Caribia	25	0.37	10.0%
Carimagua	23	0.26	ns

Cuadro 4. Efecto de la época de cosecha de seis variedades de yuca sobre la deterioración de las raíces - Popayán, 1980.

Variedad	Mes de cosecha			
	Marzo	Abril	Julio	Septiembre
	% de deterioración			
Amarilla (local)	7.7	10.1	82.6	84.1
Negríta (local)	1.9	31.9	34.3	80.7
CMC-92 (local)	3.6	11.1	33.3	78.6
MMex 59	- 1/	6.3	2.1	6.0
MCol 22	-	-	4.0	0.0
MCol 1684	-	-	3.9	2.9

1/ Raíces insuficientes para realizar la evaluación.

a la deterioración fisiológica de las raíces. Ensayos con plantas defoliadas manualmente han ratificado esta teoría.

c. Efecto de la poda de la parte aérea

En muchas zonas productoras de yuca de América Latina las raíces de yuca se suelen vender en los mercados adheridas aún a la parte inferior del tallo de las plantas como una práctica que ayuda a conservar las raíces por más tiempo. Ensayos realizados en el CIAT han demostrado que la poda de la parte aérea de la planta antes de la cosecha reduce el nivel de deterioración fisiológica después de la cosecha. Cuando el período entre la poda y la cosecha fue solo de una o dos semanas, las raíces cosechadas y mantenidas adheridas al tallo se deterioraron menos que las raíces sueltas, pero cuando el período fue de tres semanas las raíces mantenidas en una u otra forma fueron muy resistentes a la deterioración. Estos cambios se observaron en cinco variedades y la susceptibilidad a la deterioración de las raíces procedentes de plantas sin podar no tuvo relación con la de las raíces de las plantas podadas. Las raíces de las variedades MCol 1807 y MCol 22 (Figura 6) fueron las más susceptibles al deterioro antes y las más resistentes después de la poda (Lozano et al., 1978). Estos resultados se pueden relacionar con los de la sección (b), la poda siendo una defoliación severa y rápida.

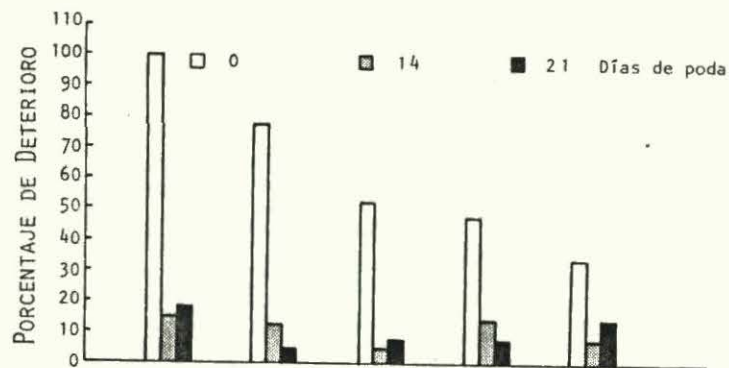
Recientemente se ha demostrado que el efecto de la poda sobre la disminución a la deterioración fisiológica puede prolongarse hasta 9 semanas después de la poda, pero se reduce la cantidad de almidón de las raíces, debido a la utilización de las reservas radiculares para sostener el rebrote de las plantas (Wheatley, 1982). Es necesario por tanto complementar el proceso de la poda con la aplicación de inhibidores del rebrote vegetativo de las plantas. Además de la reducción del almidón, la textura y calidad culinaria de las raíces son inferiores al de las raíces de plantas sin podar. La poda de las plantas antes de la cosecha mejora la resistencia a la deterioración fisiológica pero afecta adversamente la calidad de las raíces. Se requieren, por tanto, más estudios para determinar las condiciones adecuadas para mantener la calidad de las raíces.

Técnicas de conservación y almacenamiento de las raíces de yuca

Hasta la fecha no existe una técnica universal para conservar y almacenar las raíces de yuca a un nivel comercial; las técnicas más sofisticadas de refrigeración tienen sus limitaciones debido a su alto costo; técnicas más sencillas y menos costosas han demostrado sus ventajas y resultados satisfactorios a escala experimental pero ninguna ha sido generalizada en la práctica. El siguiente es un resumen de algunas técnicas reportadas para conservar las raíces después de la cosecha.

- a) Sistemas tradicionales de almacenamiento. A menudo el agricultor reduce los riesgos de deterioración de las raíces mediante la cosecha progresiva y escalonada según la demanda del mercado o de acuerdo a las necesidades de autoconsumo. Esta práctica se emplea generalmente a nivel de pequeñas áreas ya que en extensiones mayo-

RAICES ADHERIDAS AL TALLO



RAICES DESPRENDIDAS DEL TALLO

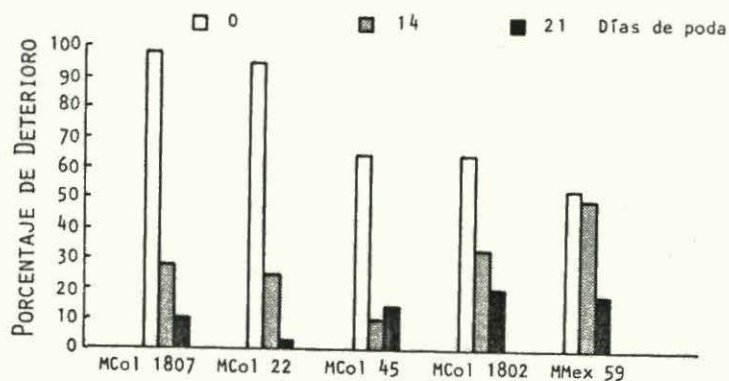


FIGURA 6. DETERIORACION DE RAICES DE 5 VARIETADES DE YUCA PODADA 0, 14, 21 DIAS ANTES DE LA COSECHA Y ALMACENADA DURANTE 20 DIAS.

res implica la inadecuada utilización de la tierra (Ingram y Humphries, 1972; Rickard y Coursey, 1981). En algunos lugares las raíces son almacenadas en montones cubiertos de tierra y mantenidos húmedos.

- b) Silos, cajas y envases. Silos de tierra y paja usados para conservación de papas han sido ensayados con raíces de yuca; 300-500 kg de raíces de yuca colocadas sobre una base de paja y cubiertas con paja y tierra con una adecuada ventilación y con una fosa de drenaje han sido conservadas satisfactoriamente hasta por ocho semanas. En condiciones adecuadas (temperatura menor de 40°C y buena ventilación) las raíces se curaron con la formación de suberina y las heridas o daños sobre la superficie se cicatrizaron (Booth, 1977). La calidad de las raíces se mantuvo cerca de la normal, observándose una ligera disminución del almidón y un aumento proporcional de azúcares. El método aunque eficiente experimentalmente no ha sido aplicado en la práctica.

El empleo de cajas de madera o de cartón es usado en varios lugares para transportar y conservar raíces de yuca, las cuales se mantienen en un ambiente húmedo utilizando aserrín o tierra humedecidos. Trabajos experimentales usando este tipo de envases han demostrado que aproximadamente un 75% de las raíces poseen una calidad aceptable después de 4 semanas de almacenamiento, pero la demora de un día entre la cosecha y el empaque redujo la cantidad de raíces con buena calidad a 49% (Booth, 1977). Actualmente este sistema, en combinación con temperaturas de almacenamiento menores de 15°C, es usado para exportar raíces de Costa Rica y República Dominicana para mercados de los EE.UU. y de Europa.

Se han reportado resultados satisfactorios al almacenar raíces de yuca en bolsas plásticas (Averre, 1967; Oudit, 1976) y en bolsas de papel con un revestimiento de polietileno después de tratar las raíces con fungicidas (Lozano et al., 1978). Tiempos de almacenamiento por algo más de un mes han sido conseguidos con tratamiento de las raíces con fungicidas; las raíces deben ser protegidas para inhibir el crecimiento de microorganismos que pueden ocasionar la deterioración microbial. Es necesario asegurarse que los productos químicos a usarse estén aprobados como inocuos para alimentación humana.

- c) El proceso de parafinado. Raíces sumergidas por un minuto en parafina líquida con 2.2% de un fungicida, secadas y almacenadas a temperatura ambiente pueden ser conservadas por un mes, y tal vez por más tiempo, sin observarse una notable reducción del peso de las raíces y conservando una calidad de raíces aceptable. El éxito experimental de este método desarrollado por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas en Bogotá permitió establecer los lineamientos de una planta piloto de parafinado (Zapata y Rivera, 1978), pero no ha tenido aún aplicación práctica.

- d) Refrigeración y congelación. Como la deterioración fisiológica es producida por un proceso enzimático, es posible inhibirla mediante el almacenamiento de las raíces a temperaturas bajas.

Las pérdidas son muy bajas cuando las raíces se conservan a 3°C (Czyhrinciw y Jaffe, 1951). Almacenamiento a bajas temperaturas permite conservar las raíces en buenas condiciones, aunque en un caso se ha reportado el desarrollo de un moho azul (Singh y Mathur, 1953) cuando las raíces se conservaron a 0-2°C.

La congelación es un método bastante efectivo para almacenar yuca pues permite evitar ambas clases de deterioración, sin embargo, pueden observarse cambios en la textura y calidad culinaria de las raíces. El proceso de congelación de trozos de yuca en bolsas de plástico se emplea en algunos países para expendio de la yuca en supermercados que cuentan con facilidades para conservar yuca congelada. En general los sistemas de refrigeración y de congelación tienen un uso muy limitado debido a su alto costo.

Conclusiones

Las recientes investigaciones en la deterioración postcosecha de las raíces de yuca han permitido aumentar el conocimiento sobre la deterioración, la cual se trata primordialmente de un proceso enzimático relacionado con el metabolismo de los componentes de la raíz. En todo caso para prevenir o reducir la deterioración es necesario evitar los daños o heridas de las raíces que se pueden producir durante la cosecha o el transporte a los lugares de expendio. Es necesario intensificar los estudios orientados a profundizar en los diferentes aspectos o factores previos a la cosecha que puedan reducir la susceptibilidad de las raíces a la deterioración fisiológica.

En cuanto a los tratamientos postcosecha todos buscan impedir la pérdida de humedad de las raíces para mantener su calidad. El proceso de curación de las raíces requiere normalmente de un ambiente húmedo el cual también favorecería el crecimiento de microorganismos que podrían aumentar las posibilidades de deterioración microbiana. Un sistema de conservación debe permitir el mantenimiento de la calidad de las raíces por períodos de relativamente larga duración (2 ó más semanas) y debe prevenir ambas clases de deterioración. Paralelamente y quizás el aspecto más importante es que los sistemas de conservación sean económicamente factibles y fáciles de aplicar.

BIBLIOGRAFIA

- Averre, C.W. 1967. Vascular streaking of stored cassava roots. Proceedings of the First International Symposium of Root and Tuber Crops, Trinidad. 2:31-35.
- Booth, R.H. 1974. Post-harvest deterioration of tropical root crops : losses and their control. Tropical Science. 16:49-63.
- Booth, R.H. 1976. Storage of fresh cassava. I - Post-harvest deterioration and its control. Experimental Agriculture. 12:103-111.
- Booth, R.H. 1977. Storage of fresh cassava (*Manihot esculenta*) II - Simple storage techniques. Experimental Agriculture. 13:119-128.
- CIAT. 1976. Annual Report. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- CIAT. 1977. Annual Report. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Cock, J.H., A.M. Castro and J.C. Toro. 1978. Agronomic implications of mechanical harvesting. In Weber, E.J., J.H. Cock and A. Chouinard (Ed.) Cassava harvesting and processing : Proceedings of a workshop held at CIAT, Cali, Colombia, 24-28 April 1978. Ottawa, International Development Research Centre, IDRC-114e, pp.60-65
- Czyhrinciw, N. and W. Jaffe. 1951. Modificaciones químicas durante la conservación de raíces y tubérculos. Archivos Venezolanos de Nutrición. 2:49-67.
- F.A.O. 1981. 1980 Production Yearbook. Vol.34, FAO, Rome.
- Hunt, L.A., D.W. Wholey and J.H. Cock. 1977. Growth Physiology of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Field Crop Abstracts. 30:77-91.
- Ingram, J. and J.R.O. Humphries. 1972. Cassava storage. A review. Tropical Science. 14:131-148.
- Lozano, J.C., J.H. Cock and J. Castaño. 1978. New developments in cassava storage. In Brekelbaum, T., A. Bellotti and J.C. Lozano (Ed.) Proceedings of the cassava protection workshop held at CIAT, Cali, Colombia, 7-12 November, 1977. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, Series CE-14. pp.135-142.
- Lozano, J.C., D. Byrne and A. Bellotti. 1980. Cassava/Ecosystem relationships and their influence on breeding strategy. Tropical Pest Management. 26:180-187.

- Marriott, J., B.O. Been and C. Perkins. 1978. The aetiology of vascular discolouration in cassava roots after harvesting : association with water loss from wounds. *Physiologia Plantarum*. 44:38-42.
- Marriott, J., B.O. Been and C. Perkins. 1979. The aetiology of vascular deterioration in cassava roots after harvesting : development of endogenous resistance in stored roots. *Physiologia Plantarum*. 45:51-56.
- Marriott, J., R.A. Plumbley and J.E. Rickard. 1980. Physiological aspects of the storage of cassava and other tropical root crops. In Hurd, R.G., P.V. Biscoe and C. Dennis (Ed.) *Opportunities for increasing crop yields*. Pitman, London. pp.363-375.
- Montaldo, A. 1973. Vascular streaking of cassava root tubers. *Tropical Science*. 15:39-46.
- Noon, R.A. and R.H. Booth. 1977. Nature of post-harvest deterioration of cassava roots. *Transactions of the British Mycological Society*. 69: 287-290.
- Oudit, D.D. 1976. Polythene bags keep cassava tubers fresh for several weeks at ambient temperature. *Journal of the Agricultural Society, Trinidad and Tobago*. 76:63-66.
- Passam, H.C. and R.A. Noon. 1977. Deterioration of yams and cassava during storage. *Annals of Applied Biology*. 85:436-440.
- Pereira, J.F. 1977. *Fisiología de la yuca*. Universidad del Oriente, JosepIn, Monagas, Venezuela. 123 p.
- Phillips, T.P. 1974. Cassava utilization and potential markets. Ottawa, Canada. International Development Research Centre. IDRC-020e. 182 p.
- Rickard, J.E. 1982. Investigation into post-harvest behaviour of cassava roots and their response to wounding. Ph.D. Thesis, University of London. 161 p.
- Rickard, J.E. and D.G. Coursey. 1981. Cassava storage-Part 1, Storage of fresh cassava roots. *Tropical Science*. 23:1-32.
- Sing, K.K. and D.B. Mathur. 1953. Cold Storage of tapioca roots. *Bulletin of the Central Food Technological Research Institute, Mysore*. 2:181-182.
- Wheatley, C.C. 1982. Studies on Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root post-harvest physiological deterioration. Ph.D. Thesis, University of London. 246 p.
- Zapata, L.E. and H. Riveras. 1978. *Preservación de la yuca fresca*. Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá, Colombia. *Tecnología* 115:9-20.