

Curso 2009/10
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS/35
I.S.B.N.: 978-84-7756-981-7

CATALINA CUBAS SÁNCHEZ
Procesado mínimo de yuca

Directoras
M^a. GLORIA LOBO RODRIGO
MÓNICA GONZÁLEZ GONZÁLEZ



SOPORTES AUDIOVISUALES E INFORMÁTICOS
Serie Tesis Doctorales

AGRADECIMIENTOS

Han sido muchos los momentos difíciles a lo largo de este camino, pero afortunadamente estoy escribiendo estas líneas para agradecer a todos aquellos que me han ayudado a alcanzar esta meta.

En primer lugar agradezco a Gloria la oportunidad de trabajar en su grupo de investigación, así como su apoyo y cariño incondicional tanto en lo personal como en lo profesional, mil gracias. Gracias también a Mónica por estar ahí durante este camino y apoyarme. También doy las gracias al resto de personas que trabajan en el ICIA por hacerme los días más amenos, en especial a Manolo Fernández Galván quién confió en mí y me prestó todo su apoyo en los momentos más difíciles.

Gracias a las técnicas de laboratorio, Sandra y Rafa, que han estado en todo momento dispuestas a ayudarme y me han sacado de muchos apuros.

También doy las gracias a Mercadona por darme la oportunidad de realizar este trabajo y a Pedro Cabrera por prestarme un poquito de su tiempo y parte de su trabajo con el fin de proporcionarme la información y el material necesario para llevar a cabo esta Tesis Doctoral.

Mami, muchas gracias por estar ahí, por quererme, valorarme, sentirte orgullosa de mí, apoyarme de manera incondicional, por tus llamadas de apoyo, por preocuparte por mí. Estaría eternamente dándote las gracias. También gracias a ti, Papi, que aunque no estés seguro que estarías muy orgulloso de mí. Te he echado mucho de menos durante todo este camino.

Gracias a todas mis amigas, que han estado ahí en todo momento, apoyándome y compartiendo “todas esas cosas raras que yo hago”, como dicen ellas. Las quiero mucho, en especial a Pilu, gracias por ser mi amiga. A mi novio por quererme y sacarme una sonrisa cuando más lo he necesitado.

A todos mis hermanos, mis sobrinos, a mis abuelos, a mi ahijada, gracias por todos los buenos momentos y por ser una parte muy importante de mi vida.

INDICE

1. Introducción	1
1.1. Taxonomía y origen	1
1.2. Morfología	2
1.3. Importancia económica mundial y en Canarias	5
1.4. Composición química y nutricional	9
1.5. Postcosecha (signos de deterioro y condiciones de conservación)	14
1.6. Procesado mínimo de productos hortofrutícolas	19
1.6.1. Recolección	23
1.6.2. Selección de la materia prima	25
1.6.2.1. Selección de la variedad	25
1.6.2.2. Transporte del tubérculo desde el campo a la planta de procesado	27
1.6.2.3. Tipo de terreno de cultivo	29
1.6.2.4. Edad fisiológica del tubérculo	29
1.6.3. Temperatura de conservación del tubérculo antes del procesado	30
1.6.4. Lavado del tubérculo entero	31
1.6.5. Pelado y troceado del tubérculo	33
1.6.6. Lavado del tubérculo troceado y aplicación de tratamientos que minimizan la pérdida de calidad	38
1.6.7. Envasado de los tubérculos	53
1.6.8. Comercialización del tubérculo mínimamente procesado	60
2. Objetivos	63
3. Materiales y métodos	65
3.1. Material vegetal	65
3.2. Procesado mínimo de yuca	66
3.2.1. Selección de la materia prima	68

3.2.1.1. Efecto de las condiciones de transporte hasta la planta de procesamiento sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada	68
3.2.1.2. Efecto del tipo de raíz sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada	69
3.2.1.3. Efecto del tipo de terreno sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada	70
3.2.1.4. Efecto de la edad fisiológica del cultivo sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada	71
3.2.2. Optimización de la temperatura y tiempo de conservación de la yuca antes del procesamiento	73
3.2.3. Optimización de la operación de lavado de la yuca entera	73
3.2.3.1. Optimización del número y tiempo de lavado	74
3.2.3.2. Optimización del volumen de agua de lavado	75
3.2.4. Optimización de la etapa de pelado de la yuca	75
3.2.4.1. Evaluación de la temperatura del tratamiento térmico	75
3.2.5. Evaluación de diferentes recubrimientos comestibles para preservar la calidad de la yuca mínimamente procesada	77
3.2.6. Optimización del <i>film</i> para mantener la atmósfera en el interior del envase	80
3.2.7. Optimización de la atmósfera en el interior del envase	80
3.2.8. Evaluación de diferentes temperaturas de conservación de la yuca procesada	81
3.2.9. Evaluación de diferentes presentaciones de yuca mínimamente procesada	83
3.3. Parámetros de calidad evaluados	84
3.3.1. Parámetros tecnológicos	86
3.3.1.1. Porcentaje de pulpa procesable	86
3.3.1.2. Tiempo de pelado	86
3.3.2. Parámetros fisiológicos y/o relacionados con la calidad organoléptica	86
3.3.2.1. Estriado vascular	86
3.3.2.2. Tasa respiratoria y producción de etileno	87

3.3.2.3. Atmósfera en el interior del envase	87
3.3.2.4. Pérdida de peso	88
3.3.2.5. Deshidratación superficial	89
3.3.2.6. Color	89
3.3.2.7. Actividad enzimática: Polifenoloxidasa (PPO) y peroxidasa (POD)	91
3.3.2.8. Manchas amarillas	92
3.3.2.9. Firmeza	92
3.3.2.10. Parámetros relacionados con el sabor	94
3.3.3. Parámetros relacionados con la seguridad alimentaria: glucósidos cianogénicos	95
3.3.4. Parámetros relacionados con la calidad higiénico-sanitaria: análisis microbiológico de yuca	96
3.3.5. Evaluación organoléptica	97
3.4. Cronograma y desarrollo de los ensayos	98
3.5. Análisis estadístico de los resultados	101
4. Resultados y discusión	103
4.1. Deterioro fisiológico y microbiológico de la yuca cuando se procesa mínimamente	103
4.2. Selección de la materia prima	111
4.2.1. Condiciones de transporte de la yuca hasta la planta de procesado	111
4.2.1.2. Transporte de la yuca por vía aérea	116
4.2.2. Efecto del tipo de raíz sobre la aptitud de la yuca al procesado mínimo	123
4.2.3. Efecto del tipo de terreno sobre la calidad de yuca mínimamente procesada	137
4.2.4. Efecto de la edad fisiológica del cultivo en la calidad de yuca procesada mínimamente	146
4.3. Optimización de la temperatura y el tiempo de conservación de la yuca antes del procesado	162
4.4. Optimización de la operación de lavado de la yuca	179

4.5. Optimización de la operación de pelado de la yuca	192
4.5.1. Evaluación de la operación de pelado con hidróxido sódico (Na OH)	192
4.5.2. Evaluación de la temperatura del tratamiento térmico	194
4.6. Optimización de distintos recubrimientos comestibles para evaluar la calidad de yuca mínimamente procesada	210
4.7. Evaluación del <i>film</i> y la atmósfera en el interior del envase de yuca mínimamente procesada	223
4.8. Evaluación de la temperatura de conservación de yuca procesada mínimamente	258
4.9. Vida comercial de la yuca mínimamente procesada	280
4.10. Producto entero y cortado	294
4.11. Evaluación de diferentes presentaciones de yuca procesada mínimamente	307
5. Conclusiones	333
6. Bibliografía	337
Anexo I: Optimización de la determinación de la actividad de la enzima peroxidasa y polifenoloxidasa en yuca	371
Anexo II: Optimización de la extracción, hidrólisis y cuantificación de glucósidos cianogénicos en yuca	395

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Taxonomía y origen

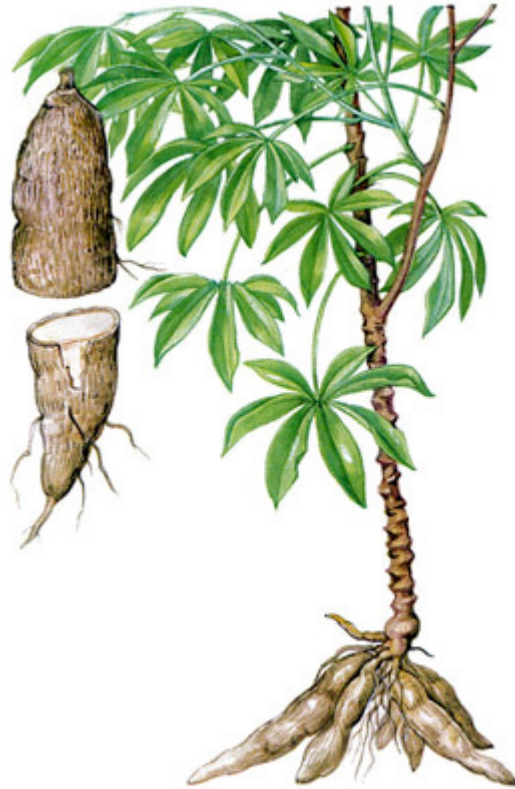
La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pertenece a la familia de las Euforbiáceas que está constituida por unas 7.200 especies, cuya principal característica es el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras o galactocitos que producen una secreción lechosa. Dentro de esta familia se encuentran tipos arbóreos como el caucho (*Hevea brasiliensis*), arbustos como el ricino (*Ricinus communis*) y numerosas plantas ornamentales, medicinales y malezas del género *Manihot*. Se han descrito alrededor de 98 especies asignadas al género *Manihot*, de las que sólo la yuca tiene relevancia económica y es cultivada. El nombre científico de la yuca fue dado originariamente por Crantz en 1766. Más tarde, fue reclasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 en dos especies diferentes: yuca amarga (*Manihot utilissima*) y yuca dulce (*Manihot aipi*). Sin embargo, en 1938 Ciferri reconoció la prioridad del trabajo de Crantz en el que se propone el nombre utilizado actualmente.

La yuca es originaria de América del Sur (Allem, 1994; Olsen y Schaal, 2001), con centros primarios de diversidad en Brasil y América Central (Allem, 2002). Actualmente es cultivada en zonas tropicales y subtropicales en cerca de 90 países de América, Asia y África.

La yuca recibe diversos nombres comunes: *yuca* en América del Sur, América Central y las Antillas y, de forma más específica, en algunos países como Argentina y Paraguay *mandioca*, en México *guacamote*, en Brasil *mandioca*, *aipi* y *macacheira*, en los países anglo-sajones *cassava* y en los países de África Oriental *mhogo*.

1.2. Morfología

La yuca es un arbusto perenne, de ramificación simpodial y con una altura de la planta que oscila entre 1 y 5 m, aunque generalmente la altura máxima no excede los 3 m (Dibujo 1).



Dibujo 1. Planta de yuca.

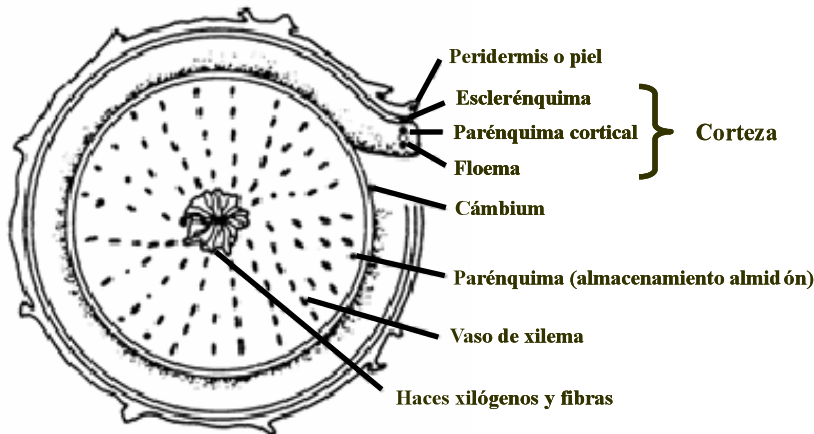
Los tallos son importantes en la yuca, ya que son el medio que se utiliza para la multiplicación vegetativa o asexual de la especie. La reproducción alógama y su constitución genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por estacas y no por semilla sexual (Ceballos y De la Cruz, 2002). Los tallos maduros son cilíndricos, el diámetro varía entre 2 y 6 cm y están formados por una serie alternante de nudos y entrenudos. Para la propagación por estacas se cortan los tallos con una longitud de 7 a 30 cm.

Al sembrar las estacas de yuca brotan de la parte superior una o más yemas y las raíces salen, por lo general, del callo que se forma en la base de la estaca (raíces basales) y de los nudos inferiores (raíces nodales). Durante las primeras semanas, la planta forma raíces fibrosas y transcurridos dos o tres meses después de la siembra, algunas raíces fibrosas comienzan a acumular almidón, proceso que continúa hasta la cosecha final (Cock y Rosas, 1975). El cultivo se desarrolla durante aproximadamente 12 meses, con un rendimiento de 1 a 3 kg de raíces por planta, pero pudiendo llegar a 7 kg por planta.

Las hojas son caducas, de tal manera que cuando envejecen, mueren y se desprenden de la planta a medida que ésta se desarrolla. Durante los tres primeros meses del cultivo, la formación de la hoja tiene prioridad sobre la formación de las raíces. Después, la planta disminuye la formación de hojas y almacena almidón en las raíces, lo que da lugar a una disminución de nutrientes en las mismas (Ceballos y Ospina, 2002). Las hojas son simples y están compuestas por una lámina foliar palmeada y profundamente lobulada y por el peciolo. El tamaño y el color de la hoja son características típicas de cada variedad, aunque dependen mucho de las condiciones ambientales. Si bien el principal producto económico de la yuca son sus raíces, las hojas también tienen importantes usos. En varias regiones de África y Asia, éstas son procesadas y utilizadas en el consumo humano, ya que tienen un valioso contenido nutritivo con altos niveles proteicos que oscilan entre 18-22% en base seca, cenizas 11%, grasas 6,8% y fibra 11% (Buitrago *et al.*, 2001). Además, las hojas tiernas contienen vitaminas y minerales siendo su contenido en ácido cianhídrico (HCN) su principal desventaja para el consumo (Dibujo 1).

La raíz es el órgano de la planta con mayor importancia económica, debido a su capacidad para almacenar almidón (Dibujo 1). Las raíces son adventicias y se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca que se convierte en una callosidad. Además, se pueden formar a partir de las yemas de la estaca que

quedan debajo de la tierra. Estas raíces al desarrollarse inicialmente forman un sistema fibroso, pero después se produce el engrosamiento y se convierten en raíces tuberosas. Las raíces pueden adquirir formas y tamaños diferentes dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales en las que la planta se desarrolla. En el **Dibujo 2** se observa el corte transversal de una raíz de yuca.



Dibujo 2. Corte transversal de la raíz de yuca (Fuente: Domínguez *et al.*, 1983).

La peridermis o piel es la parte más externa de la raíz y está compuesta por células de corcho (súber o felema) muertas que envuelven la superficie de la raíz. A medida que aumenta el diámetro del tubérculo la continuidad de estas capas celulares se rompe causando fisuras longitudinales que caracterizan la superficie de la raíz de la yuca. Por debajo de estas fisuras se forman células nuevas de corcho a partir del felógeno, restableciendo de nuevo la continuidad de este tejido en toda la superficie de la raíz. La coloración de la piel puede ir desde el blanco crema hasta café claro y marrón oscuro siendo característico de cada variedad. Por debajo de la peridermis se encuentra la corteza o capa cortical (felodermis), de 1 a 2 mm de espesor, cuyo color varía desde blanco crema hasta rosado, dependiendo de la variedad. En esta zona se encuentran comprimidos los tejidos del floema que contienen altas cantidades de glucósidos cianogénicos y, además, se encuentran

los canales laticíferos, especialmente en raíces jóvenes. La siguiente capa es el parénquima que es la parte comestible de la raíz y por tanto el tejido con mayor relevancia económica. Es una masa sólida compuesta principalmente por tejido secundario del xilema derivado del cambium, cuyas células contienen almidón en forma de gránulos redondos de tamaño desigual. En el centro de la raíz hay fibras centrales compuestas de vasos duros de xilema y esclerénquima, cuya dureza, longitud y anchura son características de cada variedad y afectan principalmente a la calidad culinaria y al aspecto de las raíces cuando son cocinadas. Cerca del 80% del peso fresco de la raíz corresponde al parénquima. El contenido en materia seca de la raíz fluctúa entre el 30% y 40%, aunque a veces se observan casos que exceden este intervalo de variación.

1.3. Importancia económica mundial y en Canarias

La yuca ha sido desde hace mucho tiempo una valiosa fuente alimenticia, de empleo y de ingresos para numerosas comunidades agrícolas de países en vías de desarrollo, principalmente de África, Asia y América Latina. Es el cuarto producto básico más importante después del arroz, el trigo y el maíz y es un componente básico en la dieta de más de 1.000 millones de personas.

A pesar de que la yuca es un cultivo originario de América Latina y el Caribe, esta región aporta sólo el 17% de la producción mundial (FAO, 2008). En base a la información estadística publicada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT), la producción mundial de yuca en el año 2007 estuvo en torno a los 228 millones de toneladas (FAO, 2008) distribuida casi totalmente en África, Asia y América Latina. Costa Rica es el líder de las exportaciones de raíces frescas de yuca a Estados Unidos y a Europa, donde son consumidas principalmente por grupos étnicos radicados en esos países. El resto procede de exportadores de Asia, África, América Latina y el Caribe como por ejemplo, Brasil (3,5%), Indonesia (3,3%) y otros pequeños

exportadores como China, Ghana, Madagascar, Nigeria y Tanzania. Europa es el principal importador de yuca seguido de China.

La producción de yuca en los trópicos está orientada principalmente al consumo humano en forma de raíz fresca y procesada (harina), pero además este producto es muy utilizado como alimento animal (FAO, 2008) en forma de harina y como materia prima para productos industrializados. El producto industrial más importante es el almidón elaborado a base de yuca, que se usa en las industrias alimenticias y textil así como en la producción de papeles y adhesivos. Además, tiene potencial en la producción de dextrosa y derivados como el sorbitol (Arroyo, 1988). La yuca también se puede utilizar, según investigaciones de la FAO (FAO 2007a), como materia prima comercialmente viable para producir energía cuando el precio del petróleo ha aumentado. El proceso de transformación de la yuca en biocombustible (etanol) comienza con el almidón de yuca licuado que se fermenta de dos a cuatro días utilizando una levadura, *Endomycopsis fibuligera*, a veces combinada con una bacteria, *Zymomonas mobilis*. Un sistema básico de producción, que supone mondadores, ralladores, fermentadores y un destilador, puede producir alrededor de 280 l de etanol al 96% a partir de una tonelada de yuca con un 30% de almidón (FAO, 2007b).

Según los últimos datos publicados por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias, 2007), en el año 2007, la producción agrícola de Canarias se concentró principalmente en el cultivo de plátanos (28%) y tomate (20%). El tercer sector productivo fue el de las ornamentales y esquejes (7%) y el cuarto el de los tubérculos y más concretamente el de las papas (85.605 toneladas), representando un 5,4% de la producción (**Figura 1**) y ocupando una superficie de terreno de 4.262 hectáreas, mientras que 432 hectáreas de terreno fueron destinadas al cultivo de otros

tubérculos, entre los que se encuentran la yuca, la batata, el ñame, etc. (5.065 toneladas).

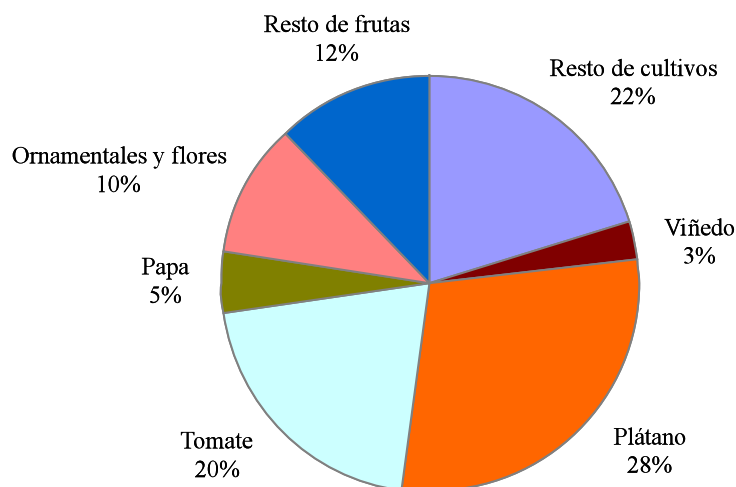


Figura 1. Producción agrícola en Canarias (2007).

Las variedades de yuca más habitualmente cultivadas en las Islas Canarias son las de bajo contenido en compuestos cianogénicos (Foto 1), siendo producidas principalmente en las islas de El Hierro y La Palma, aunque en el caso de la isla de La Palma la mayor parte de la producción está destinada al autoconsumo. Atendiendo a la información proporcionada por Mercahierro, la producción de yuca en la isla de El Hierro en el año 2004 fue de 44.485 kg de yuca ecológica, cuyo precio en el mercado alcanzó los 2,21 euros/kg, y 761,4 kg de yuca convencional, alcanzando precios de 0,95 euros/kg. En el año 2006 se produjo una importante disminución en la producción de yuca ecológica (2.316 kg cuyo precio en el mercado alcanzó los 3 euros/kg) no registrándose producción alguna de yuca convencional. En el año 2008 la producción de yuca producida en la isla de El Hierro se dedicó al autoconsumo. Este hecho se debió a que la yuca procedente de Mercahierro llegaba a Mercatenerife con una calidad inapropiada para su comercialización. Un alto porcentaje de raíces presentaban estriado vascular. Así, mientras que Mercatenerife no importó de Costa Rica, República Dominicana o

Ecuador durante el año 2004, en el año 2006 importó alrededor de 6.600 kg de yuca comercializándose a 0,95 euros/kg. Dichos tubérculos provienen de sus lugares de origen envueltos en unas películas de parafina para protegerlos de daños, pudriciones y la deshidratación y así extender la vida útil durante la postcosecha. En el año 2008 la importación se multiplicó por 4 (aproximadamente 25.000 kg) que se comercializaron a 1,31 euros/kg.



Foto 1. Cultivo de yuca (Isla de El Hierro).

El aumento en la importación de este tubérculo se debe a que en los últimos años se ha observado un mayor movimiento migratorio de la población mundial incrementándose, en muchos países europeos, los consumidores habituales de yuca, ya que en su país natal el consumo de dicho tubérculo es la principal fuente alimenticia. El cultivo de la yuca se adapta bien a las condiciones edafoclimáticas de algunas zonas de las Islas Canarias: bajo nivel de precipitaciones y suelos arenosos y empobrecidos. Además, el cultivo de este tubérculo puede llevarse a cabo tanto en suelos ácidos (con pH entre 5,0 y 5,5) como alcalinos (pH entre 8,0 y 9,0). Debido a la aprobación por las Cortes Generales de la Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el Desarrollo Sostenible del Medio Rural (Cortes Generales de España, 2007), cuyo objetivo es lograr el mantenimiento de la población rural y la

mejora de sus condiciones de vida y rentas, los agricultores tendrán la oportunidad de expandir este tipo de cultivo aprovechando así el que la demanda de este tubérculo por parte del consumidor es cada vez mayor.

1.4. Composición química y nutricional

Las frutas y hortalizas son alimentos vegetales que forman parte de la dieta humana en proporciones variables. Diversos estudios epidemiológicos inciden en que una dieta rica en frutas y hortalizas y alimentos derivados de éstas tiene un papel beneficioso en la prevención de enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Knekt *et al.*, 2000; Le Marchand *et al.*, 2000). Las frutas y hortalizas, en su composición, aparte de presentar nutrientes básicos para la vida como son las proteínas, hidratos de carbono, grasas, vitaminas y minerales aportan compuestos fitoquímicos o bioactivos que ejercen un posible efecto protector frente a determinadas enfermedades degenerativas.

Desde el punto de vista nutricional la yuca es una buena fuente energética (127 kcal/100 g, frente a las 76 kcal/100 g de la papa), siendo su contenido en agua del 65%. Aproximadamente el 80% del peso fresco de la raíz, corresponde al parénquima, que es el tejido en el que la planta almacena el almidón. La materia seca del parénquima está constituida, en su mayor parte (90-95%), por la fracción no nitrogenada, es decir por hidratos de carbono como el almidón y azúcares. El resto de materia seca corresponde a proteínas 0,8-1,0%, grasas 0,2-0,5% y fibra 0,8% (Bradbury y Holloway, 1988).

El almidón es el componente más importante en la yuca, debido al elevado contenido de éste en la estructura del tubérculo así como a su gran aporte energético. La estructura del almidón está formada por dos polímeros, amilosa y amilopectina, cuya proporción relativa en el almidón, así como el peso molecular específico y el tamaño de los gránulos, determinan sus propiedades fisicoquímicas

y su potencialidad de aprovechamiento en ciertos procesos industriales. Los gránulos de almidón de tubérculos como la papa y la yuca contienen un pequeño porcentaje de sustancias grasas comparadas con los almidones de cereales como el maíz y el arroz. Esta composición favorece al almidón de yuca, ya que estos lípidos forman complejos con la amilosa, la cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón, y por esta razón se necesitan temperaturas altas ($> 125^{\circ}\text{C}$) para romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa. La presencia de sustancias grasas puede crear problemas por la tendencia al enranciamiento del producto durante el almacenamiento. El contenido promedio de amilosa en el almidón de yuca es del orden del 17%, semejante al que presenta el del arroz. En el de papa es del 24% y en el de maíz es del 26% (Ceballos y De la Cruz, 2002). Cuanto más bajo es el porcentaje de amilosa, el almidón es más estable y resistente a la retrogradación (reorganización de la amilosa y amilopectina en una estructura cristalina cuando las pastas de los almidones son enfriadas). El almidón de yuca tiene una tendencia baja a la retrogradación y da lugar a un gel muy claro y estable. Las características reológicas del almidón de yuca se asemejan bastante a las del maíz ceroso, propiedad muy valorada en la selección de materias primas para elaboración de productos alimenticios. El almidón de yuca gelatiniza como el almidón de arroz y el maíz ceroso, a temperaturas relativamente bajas ($60-67^{\circ}\text{C}$), en el que el pico máximo es alcanzado rápidamente, lo que implica que es un almidón fácil de cocinar y requiere menor consumo de energía durante su cocción que el proveniente de otras fuentes (Ceballos y De la Cruz, 2002). El almidón de yuca ofrece mayores oportunidades de comercialización que el que proviene del maíz o de la papa ya que la modificación química a realizar es más sencilla y menos costosa cuando se efectúa a partir de este almidón. En países como Colombia, la extracción del almidón de yuca se realiza en industrias netamente artesanales, comúnmente conocidas como *rallanderías*, las cuales pueden producir almidón

nativo (sin fermentar) y agrio (fermentado), siendo este último el producto más comercializado. El almidón dulce o nativo es utilizado como ingrediente en productos de panadería secos, aunque esta demanda no es relevante. El almidón agrio es utilizado principalmente como ingrediente para productos de panadería como panes y buñuelos. También se utiliza cada vez más como ingrediente de una amplia gama de productos (chicharrones, rosquillas, besitos, tocinetas, etc.) en los cuales se aprovecha el poder de panificación y expansión del almidón, siendo esta demanda la de mayor potencial de crecimiento (Ceballos *et al.*, 2004).

Aparte de su alto contenido en almidón, la raíz de yuca contiene vitaminas del grupo B (B2, B6), vitamina C, magnesio, potasio, calcio y hierro. Contiene compuestos fenólicos como hidroxycumarinas (escopoletina, escopolina y esculina) y flavan-3-ols [(+)-catequina y (+)-galocatequina] (Uritani *et al.*, 1984; Rickard, 1985). Estos compuestos poseen propiedades beneficiosas para la salud humana debido a su potente actividad antioxidante y sus propiedades farmacológicas (Rice-Evans *et al.*, 1996; Duthie *et al.*, 2000; Parr y Bolwell, 2000), ya que pueden actuar como moduladores de la respuesta inmune, modificadores de procesos inflamatorios, etc. Son compuestos susceptibles de oxidarse enzimáticamente para dar lugar al pardeamiento de los tejidos, lo que generalmente conduce a una pérdida de la calidad (Bezerra *et al.*, 2002a). La yuca contiene también taninos, sustancias que presentan efectos beneficiosos para la salud ya que tienen poder antiinflamatorio y actividad antioxidante. No obstante, los taninos a concentraciones elevadas pueden disminuir la absorción de algunos nutrientes como las proteínas o el hierro ejerciendo de esta manera como sustancias antinutritivas.

Otros componentes de la yuca son los glucósidos cianogénicos, principalmente linamarina (aproximadamente el 97%) y lotaustralina (3%). Cuando se produce la destrucción de las células que contienen los glucósidos se produce la liberación de éstos. La linamarina en presencia de agua y bajo la

acción de la enzima linamarasa, una β -glucosidasa, produce glucosa y una cianohidrina-acetona que, en presencia de la enzima dihidronitrilasa, produce ácido cianhídrico (HCN) y una acetona (Figura 2), en cantidades que representan desde una dosis inocua hasta una que puede ser tóxica y mortal (Zaninovic, 2003).

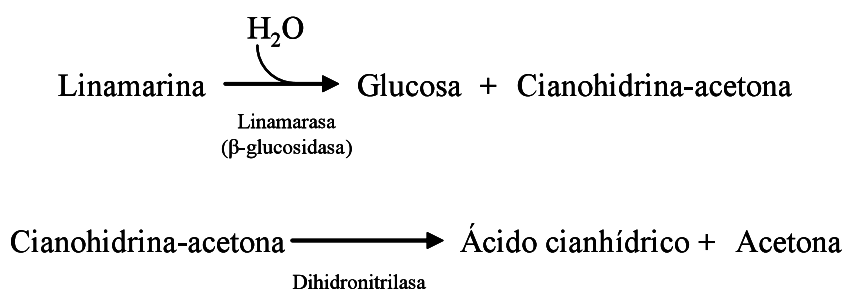


Figura 2. Degradación de los glucósidos cianogénicos (linamarina) a ácido cianhídrico.

Tanto el cianuro como el tiocianato, su metabolito de excreción, son bociógenos y actúan bloqueando la bomba tiroidea de la captación de yoduros e incrementando su eliminación renal. El cianuro es una sustancia muy tóxica, ya que se une a la enzima citocromo C oxidasa y paraliza la respiración celular, inhibiendo la respiración mitocondrial de las células. Una dosis de entre 30 y 210 mg de HCN puede causar la muerte de una persona adulta. Además, la ingestión continuada de esta sustancia, cuando se utiliza la yuca como alimento básico sin procesar adecuadamente, puede tener consecuencias muy graves para la salud (Ernesto *et al.*, 2002). El konzo es una enfermedad causada por la intoxicación crónica por cianuro y afecta principalmente a niños y mujeres en edad fértil. Se produce bruscamente causando parálisis y la deformación irreversible de las piernas. Esta enfermedad se conoce desde 1936 y, periódicamente, se producen epidemias locales motivadas principalmente por hambrunas y guerras que obligan a la población a comer lo que puede, sin preocuparse de realizar correctamente el procesado de la yuca. Otro tipo de intoxicación crónica por cianuro es la neuropatía atáxica tropical (TAN) que afecta por igual a hombres y mujeres con

mayor incidencia entre los 50 y 60 años. Esta neuropatía produce ataxia o disminución de la coordinación del movimiento, dando al afectado un aspecto semejante al de una persona que ha ingerido altas cantidades de alcohol.

La linamarina y lotaustralina se encuentran principalmente en las raíces de yuca, siendo mayor la concentración en la corteza que en el parénquima (Barrios y Bressani, 1967; Gondwe, 1974). Además, se encuentran en otros tejidos de la planta, como son los tallos y las hojas, donde el potencial cianogénico es menor. Por tanto, el contenido en glucósidos cianogénicos es un factor determinante en el uso final de la yuca. Muchas variedades, denominadas *dulces*, tienen niveles bajos de estos glucósidos y pueden ser consumidas de manera segura después de los procesos normales de cocción, mientras que otras variedades, denominadas *amargas*, contienen niveles elevados de estos glucósidos por lo que es necesario un proceso adecuado para que sean aptas para el consumo humano y, por ello, estas variedades están generalmente destinadas a los procesos industriales. Contrariamente a lo que se cree, no existe una relación definida entre el sabor amargo o dulce y el contenido de glucósidos. La diferenciación entre variedades *dulces* o *amargas* no siempre es precisa, ya que el contenido en glucósidos cianogénicos no es constante dentro de una variedad y depende también de las condiciones edafoclimáticas del cultivo. Aparentemente en los suelos fértiles se incrementa el sabor amargo y la concentración de glucósidos cianogénicos. Las yucas denominadas *amargas* son más comunes en el área amazónica y en el Caribe, mientras que las *dulces* se encuentran con mayor frecuencia en el norte de América del Sur (FAO, 2007a). La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el consumo de yuca es seguro cuando el nivel de glucósidos cianogénicos en la harina está por debajo de 10 mg/kg (FAO/WHO, 1991).

Por todo lo anteriormente expuesto, la yuca ha de ser sometida a distintos tratamientos de detoxificación (eliminación de productos cianogénicos) para poder ser ingerida de forma segura. En los pueblos en los que se consume

tradicionalmente la yuca, la detoxificación implica el empleo de un conjunto de sistemas que aprovechan, de forma empírica, la presencia de las enzimas linamarasa y dihidronitrilasa. En términos bioquímicos, la descompartimentalización de las células por el raspado y posterior triturado en mortero permite que las enzimas descompongan la linamarina en HCN, que se elimina en el líquido extraído por prensado. El HCN que queda atrapado se elimina a su vez por lavado o por calentamiento, ya que es soluble en agua y volátil. El *almidón de mandioca*, obtenido lavando la raíz molida, recibe el nombre de *tapioca* y no contiene cianuro. También podría eliminarse el HCN por fermentación disminuyendo el pH. El secado es el método de detoxificación más utilizado en la mayoría de los países tropicales (Padmaja, 1995). Otros tratamientos implican exprimir, machacar o fermentar las raíces de yuca antes del secado o tostado para obtener productos tales como: *yuca seca*, *fufu*, *gari*, *akyeke*, etc. El remojo de las raíces seguido del hervido elimina aún mejor el HCN (Onabolu *et al.*, 2002; Oboh y Akindahunsi, 2003; Obilie *et al.*, 2004).

1.5. Postcosecha (signos de deterioro y condiciones de conservación)

La principal limitación que impide incrementar la comercialización y el consumo de yuca es la dificultad de conservar las raíces después de la cosecha, debido a que éstas se deterioran rápidamente. El deterioro aumenta los costos y riesgos, ocasionando grandes pérdidas económicas a los productores y comerciantes. Dicho deterioro se produce por dos vías: fisiológica y microbiana (Booth, 1976), dando lugar a un producto inaceptable para el consumo humano o para otros usos. El deterioro fisiológico requiere la presencia de oxígeno para su desarrollo e involucra reacciones enzimáticas. El deterioro microbiológico está asociado a la actividad de microorganismos alterantes de la calidad y es propiciado por ambientes con humedad relativa y temperaturas altas estando directamente relacionado con los daños físicos (roces, cortes, etc.).

El deterioro fisiológico postcosecha, conocido como *postharvest physiological disorder* (PPD), se manifiesta durante las primeras 48 horas después de la recolección de la yuca y su sintomatología consiste en una desecación de color blanco a pardo, que normalmente aparece en forma de anillo en la periferia del parénquima y va acompañado de la aparición de estrías negro-azuladas. Dicho deterioro se conoce con el nombre de estriado vascular (Foto 2) y se inicia rápidamente en las heridas, manifestándose principalmente en el extremo distal y proximal de la raíz. Las estrías son vasos del xilema deteriorados que se localizan principalmente en la superficie externa del tubérculo una vez pelado y en la zona de corte.



Foto 2. Deterioro fisiológico en raíces de yuca: estriado vascular.

Este desorden parece estar mediado por enzimas deshidrogenasas, peroxidases, fosforilasas y catalasas (Marriot *et al.*, 1978; Isamah *et al.*, 2003) y se debe principalmente a la oxidación de compuestos fenólicos como la escopoletina (Wheatley y Schwabe, 1985). Dicho compuesto generalmente no se encuentra en las raíces frescas o, si lo hay, está en bajas concentraciones. Sin embargo, a las pocas horas de la cosecha su concentración aumenta considerablemente. En presencia de luz ultravioleta la escopoletina emite una fluorescencia de color azul intenso. Así, podría determinarse, a través de dicha fluorescencia, si el proceso de

deterioro ha comenzado (Wheatley, 1983). Posteriormente dicho deterioro se extiende al parénquima modificándose la estructura del almidón (Plumbley y Rickard, 1991), dando lugar a un producto no comercializable y organolépticamente inaceptable. Este proceso de deterioro suele ir acompañado de un aumento en la producción de etileno y de peróxido de hidrógeno; es un proceso fisiológico en el que no participa el desarrollo microbiano (Averre, 1967; Noon y Booth, 1977) y depende, entre otros factores, de la variedad de yuca (Iglesias *et al.*, 1996).

Al deterioro fisiológico del tubérculo suele seguirle la infección microbiana que conduce a la fermentación y ablandamiento de los tejidos (Plumbley y Rickard, 1991; Wenham, 1995). Este deterioro consiste en pudriciones causadas por hongos y bacterias y se ve acelerado cuando el ambiente presenta temperaturas y humedad relativa altas, afectando especialmente a raíces que presentan daños físicos (Sánchez y Alonso, 2002). Existen estudios en los que se han aislado del tejido dañado hongos de los géneros *Penicilium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* y *Fusarium*, y bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Corynebacterium* (Booth, 1976; Noon y Booth, 1977; Wenham, 1995). Por lo general, el deterioro microbiano se presenta en cualquier parte de la raíz después de cinco a siete días de la cosecha y depende de la intensidad del daño físico ocasionado a las raíces en el momento de la cosecha y de la capacidad de la flora microbiana del suelo y del medio ambiente para metabolizar el almidón de las raíces. Aracena *et al.* (1994) indicaron que muchas infecciones se manifiestan cuando la yuca llega al consumidor y la temperatura ambiente sobrepasa los 20°C, produciéndose así la condensación de vapor de agua sobre la superficie de la yuca lo que favorece la proliferación de los microorganismos.

Hoy en día no existe una técnica universal para conservar raíces de yuca a nivel comercial. Sin embargo, algunas condiciones de almacenamiento pueden reducir los factores causantes del deterioro de las raíces. Para alargar

considerablemente la vida comercial de la yuca (dos semanas), es recomendable conservar el tubérculo a temperaturas entre 0 y 5°C y una humedad relativa alta (85-90%) lo que inhibe la acción de la polifenoloxidasas y otras enzimas relacionadas con el deterioro fisiológico. Antes de la refrigeración es frecuente realizar el curado de las raíces, exponiendo éstas a temperaturas y humedades relativas altas (30-35°C y 80-85% HR). Este proceso cicatriza las heridas e impide el comienzo del deterioro vascular y el ataque de microorganismos (Booth y Coursey, 1974; Booth, 1976; Booth, 1977; Aristizábal y Sánchez, 2007). Otras técnicas de conservación pueden ser el empleo de nitrógeno en la atmósfera circulante o el vacío, que reducen la concentración de oxígeno que rodea al tubérculo; el recubrimiento de las raíces con finas capas de parafina que impide la entrada de oxígeno a los tejidos del tubérculo; el empaquetado de las raíces en bolsas de polietileno y los tratamientos con fungicidas inmediatamente después de la cosecha.

Los principales factores que afectan a la incidencia de estos dos tipos de deterioro son los daños mecánicos, la variedad, las condiciones edafoclimáticas y la poda de la parte aérea de la planta (Wheatley *et al.*, 1985). La presencia de daños mecánicos en las raíces de yuca se ve influenciada por factores relacionados con las características varietales tales como la forma de las raíces, la presencia de pedúnculos largos, la adherencia de la cáscara, la textura y compactación del suelo y el método de cosecha (manual o mecánico). Existen diversos estudios que demuestran la susceptibilidad de determinadas variedades al deterioro fisiológico (Montaldo, 1973; Lozano *et al.*, 1977; Pereira, 1977; Lozano *et al.*, 1978; Wheatley y Gómez, 1985; Cortés *et al.*, 2002) y su posible relación con el contenido en materia seca de las raíces (CIAT, 1977; Wheatley *et al.*, 1985). Fernández *et al.* (1988) evaluaron la susceptibilidad al deterioro fisiológico de siete variedades de yuca y observaron que las variedades “Mangi” y “Valencia” presentaron un alto índice de dicho deterioro (62 y 60%, respectivamente), en

cambio las variedades “Criolla del Zamorano” y la “CMC-309-163” mostraron un índice de deterioro fisiológico significativamente menor (11 y 5%, respectivamente). Sivan (1979) observó que la variedad “Hawai” fue muy resistente al deterioro fisiológico ya que durante diez días de conservación a temperatura ambiente (25-28°C) no manifestó dicho deterioro. También, se han evaluado diferentes variedades de yuca y distintas edades fisiológicas del cultivo y se ha observado que cuanto mayor es la edad fisiológica de la raíz mayor susceptibilidad al deterioro (Wheatley y Gómez, 1985). Por otro lado, Wheatley (1982) evaluó varias variedades de yuca en diferentes condiciones edafoclimáticas y épocas del año y mostró cómo afectan éstas condiciones en el deterioro postcosecha de las raíces. Así, encontró que el comportamiento de un mismo cultivar al deterioro puede variar en el transcurso del año, posiblemente como consecuencia de los cambios climáticos. El efecto de la poda de la parte aérea de la planta de yuca minimiza el deterioro fisiológico (Marriot *et al.*, 1979; Hirose *et al.*, 1984a; Kato *et al.*, 1991; Paranaíba *et al.*, 1996). Cuando el periodo entre la poda y la cosecha es de una a dos semanas, las raíces adheridas al tallo se deterioran menos que las raíces sueltas, y cuando el periodo es de tres semanas las raíces mantenidas, en una u otra forma, son resistentes al deterioro (Lozano *et al.*, 1978). Kato *et al.* (1991) observaron una reducción del deterioro fisiológico postcosecha de las raíces de yuca cuando fueron podadas entre 21 y 28 días antes de la cosecha. Por otro lado, Burgos *et al.* (2005) evaluaron el efecto de la poda de la parte aérea de la planta de yuca sobre el contenido de materia seca y el deterioro fisiológico postcosecha en tres variedades de yuca (“Amarilla”, “Misionera” y “Cambi”). Observaron que los tubérculos procedentes de plantas que fueron podadas 24 días antes de la cosecha se conservaron mejor, durante diez días, que las que no fueron podadas o fueron podadas 34 días antes de la cosecha. Además, cuando dichas plantas fueron podadas 34 días antes de la cosecha el rendimiento de la planta fue mucho mayor, aunque en las raíces de yuca se

produjo una merma en el contenido en materia seca; sin embargo, el contenido en almidón se mantuvo invariable.

Las raíces de yuca que se comercializan miden entre 20-40 cm de longitud y 4-10 cm de diámetro y pesan entre 300 y 900 g dependiendo de la categoría comercial y el mercado al que van destinadas. En España no existen Normas de Calidad para la comercialización de la yuca, aunque se comercializan las que presentan mayor tamaño. Sin embargo, en Costa Rica sí existen Normas de Calidad para la exportación de yuca, clasificando este tubérculo en tres categorías, extra, primera y comercial, en función del diámetro, largo y peso (Tabla 1).

Tabla 1. Categorización de la yuca para exportación en Costa Rica según el calibre (Segura *et al.*, 2003).

Diámetro (cm)	Largo (cm)	Peso (g)	Tolerancias por categorías		
			Extra	Primera	Comercial
4-8	20-40	300-1.000	-----	Hasta 10%	Hasta 15%

Otro parámetro de calidad que se tiene en cuenta son los daños, que pueden ser severos o leves. Entre los daños severos se encuentran la falta de firmeza, el destronque o los desgarros que se producen en la parte proximal de la raíz y el despunte o quiebre de la punta de la yuca, lo que da lugar a la entrada de hongos y bacterias que ocasionan las pudriciones. En cuanto a los daños leves, se pueden citar el descascare o pérdida de la piel provocada por roces con otras superficies, la presencia de acinturamiento o estrangulamiento de la raíz, cicatrices, raicillas y daños por mal parafinado (Segura *et al.*, 2003).

1.6. Procesado mínimo de productos hortofrutícolas

Actualmente el procesado mínimo de productos hortofrutícolas se encuentra en auge y su consumo se ha incrementado en los países desarrollados. Este hecho

se ha debido, fundamentalmente, a un cambio en la sociedad: mayor número de hogares con adultos mayores de 50 años, más personas viviendo solas y más hogares sin niños. Además, los hábitos de consumo en los países más desarrollados han cambiado ante la necesidad de simplificar las comidas por el escaso tiempo disponible para prepararlas, debido principalmente a la incorporación de la mujer al mundo laboral y al deseo de disponer de más tiempo libre.

La Asociación Internacional de Productos Frescos Cortados (IFPA) define los productos mínimamente procesados como aquellos productos elaborados a partir de frutas y hortalizas que han sufrido uno o varios tratamientos suaves en su acondicionamiento y preparación para el consumo. Son productos cien por cien utilizables y se presentan envasados para ofrecer al consumidor un producto fresco, saludable, cómodo y con todas sus características originales. Se diferencian de otros productos elaborados en que el tejido vegetal permanece vivo; sin embargo, debido a las operaciones de preparación, estos productos manifiestan respuestas fisiológicas más aceleradas que las de un producto entero. Dichos productos reciben denominaciones variadas en función de la zona geográfica donde tiene lugar la elaboración y del modo de preparación. En los países anglosajones se les denomina mínimamente o parcialmente procesados (*minimally processed, slightly processed, partially processed*), listos para consumir o utilizar o cocinar (*ready to eat* o *ready to cook*), pre-cortados o pre-preparados (*pre-precut* o *pre-prepared*) y, también, frescos cortados o recién cortados (*fresh-cut*), siendo esta última denominación la más extendida en EE.UU. En el área francófona se les llama, casi en exclusiva, de la cuarta gama de la alimentación (*IV^{ème} Gamme*), con una connotación comercial también extendida por España (*IV Gama*) (Artés-Calero y Artés-Hernández, 2003).

La Asociación Española de Frutas y Hortalizas Lavadas y Listas para su Empleo (AFHORLA), constituida por las mayores empresas españolas de este

sector [Vega Mayor S.A. (Navarra), Verdifresh S.L. (Valencia, Málaga, Castilla y León), Sogesol S.A. (Murcia), Kernel Export S.L. (Murcia), Primaflor (Almería), Tallo Verde S.L. (Toledo) y Frutibon S.A. (Alicante)] informó que la comercialización de hortalizas y frutas procesadas mínimamente en el año 2008 fue de 62.681 toneladas, un 3,2% más que en el 2007, manteniéndose la evolución positiva de este sector en España. De la cantidad comercializada por AFHORLA, 61.593 toneladas correspondieron a hortalizas, que es el sector más desarrollado en España y 1.088 toneladas correspondieron a frutas. Del total comercializado en este periodo, el 21% aproximadamente se dirigió a la hostelería y restauración y el 79% a la distribución. Entre las hortalizas comercializadas en España se encuentran: lechuga, mezcla de lechugas, zanahoria, acelga, mezcla de hortalizas para sopa, pimiento, puerro y otros. En 2008, 7,7 millones de hogares españoles compraron, al menos una vez al año, productos de IV Gama, situándose la frecuencia media de compra en torno a los 2,8 kg al año. Las empresas que más papas en IV Gama producen en España son Ibérica de Patatas (Madrid) y Coprodur S.L. (Cádiz), con un total aproximado de 3.000 toneladas al año dirigidas principalmente al canal HORECA (Hostelería, Restauración, Catering).

Las características que definen a un producto mínimamente procesado de calidad son: buena apariencia, textura aceptable, buen sabor y olor (calidad organoléptica o sensorial), seguridad microbiológica (calidad higiénico-sanitaria), vida útil (calidad comercial) y calidad nutricional. Si algunos de estos requisitos no se cumplen o están por debajo de los valores mínimos aceptables para cada atributo, el producto pierde su valor comercial. Factores como la variedad, el estado de madurez en el momento de la recolección, la manipulación durante la postcosecha, el acondicionamiento de la materia prima, el procesado industrial, así como las condiciones de almacenamiento del producto terminado son algunos de los parámetros que intervienen en la calidad final de un producto mínimamente procesado (Huxsoll y Bolin, 1989). Los productos mínimamente procesados son,

por lo general, más perecederos que el producto fresco del que proceden ya que durante el pelado, cortado y lavado del producto se pueden producir reacciones de degradación dando lugar a modificaciones organolépticas del producto tales como el color, aroma, sabor, así como de su valor nutricional y de su calidad higiénico-sanitaria (Varoquaux y Wiley, 1994; Brecht, 1995; Salveit, 1997). Por lo tanto, para asegurar la estabilidad, durabilidad y seguridad de estos productos durante su comercialización es necesario el uso de técnicas que minimicen los efectos indeseables e inherentes al procesado. Normalmente, se recurre al empleo de aditivos químicos, radiaciones ionizantes, UV-C, radiofrecuencia, reducción de la actividad del agua, recubrimientos comestibles, texturizantes, higienizantes, tratamientos térmicos suaves, bajas temperaturas de almacenamiento y atmósferas modificadas (Varoquaux y Wiley, 1994). La vida útil de los alimentos vegetales mínimamente procesados suele oscilar entre cuatro y siete días (Kader *et al.*, 1989).

Esta Tesis Doctoral tiene por objeto la optimización del diagrama de flujo para la elaboración de yuca mínimamente procesada con una calidad organoléptica garantizada y segura desde el punto de vista higiénico-sanitario. Por lo tanto, para asegurar la calidad final de los productos mínimamente procesados y, en especial, de los tubérculos como la yuca es necesario conocer el efecto que el procesado tiene en su calidad, así como las técnicas necesarias para evitar el deterioro de estos productos ya sea durante el procesado como durante su conservación, transporte y distribución. El procesado mínimo de tubérculos comprende distintas operaciones unitarias que, de forma general, se pueden resumir en las siguientes etapas: selección de la materia prima, lavado del producto entero, pelado y troceado, lavado e higienizado del producto troceado, con o sin aplicación de tratamientos, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y venta (Figura 3).

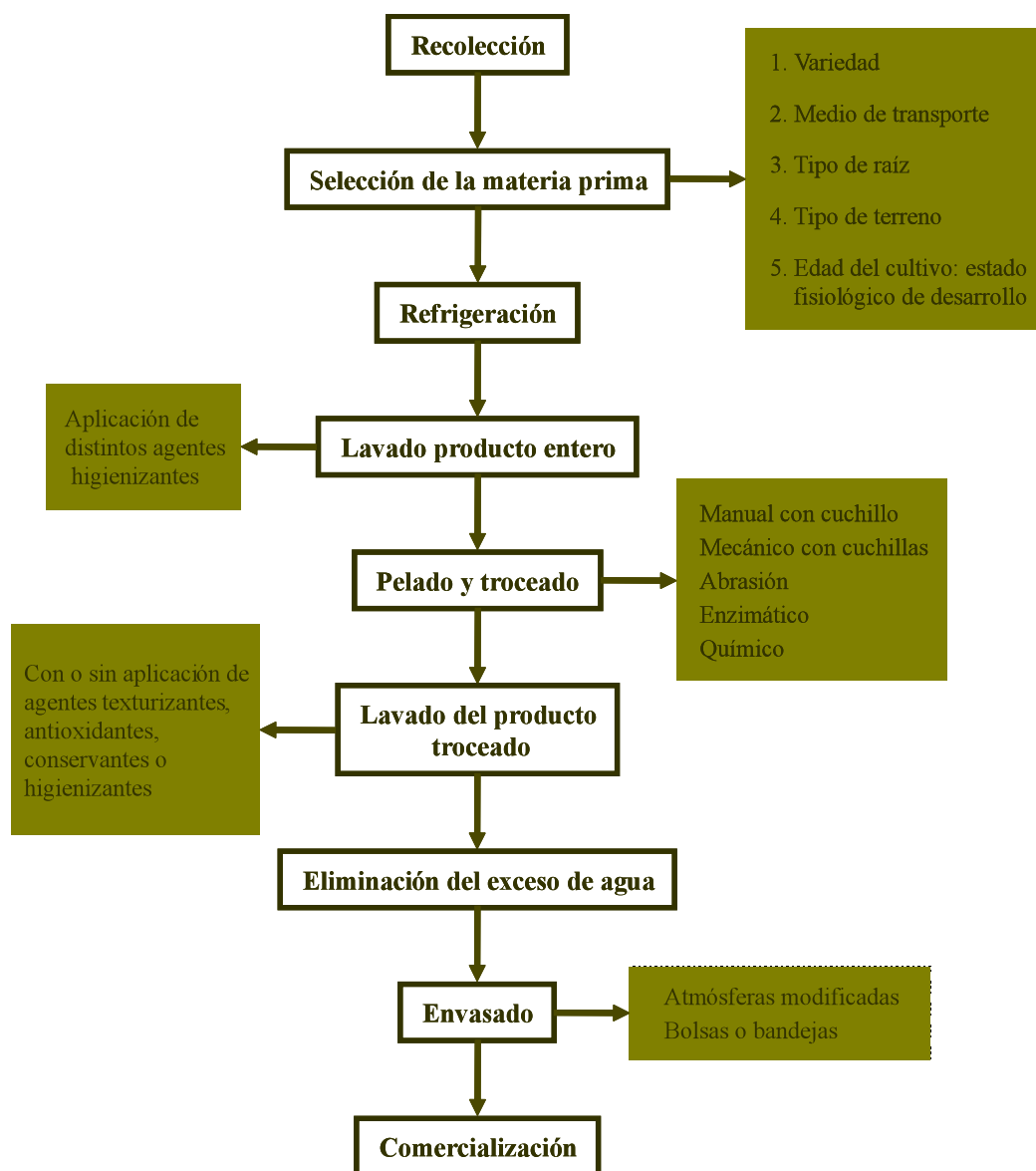


Figura 3. Diagrama de flujo para la elaboración de yuca mínimamente procesada.

1.6.1. Recolección

El inicio o intensidad del deterioro de los tubérculos y, en especial de las raíces de yuca, está directamente relacionado con la presencia de daños físicos en las mismas (Booth, 1976), por lo tanto es de vital importancia una adecuada recolección de éstos. El tubérculo a procesar debe recolectarse con mucho cuidado

intentando causar el mínimo daño posible a los tejidos para evitar desórdenes fisiológicos en las raíces y la proliferación microbiana que implican una pérdida de calidad en el producto final. Además, la recolección ha de realizarse en óptimas condiciones de higiene, seleccionando tubérculos sanos, con ausencia de defectos, roces, malformaciones y con una textura firme para minimizar el destrío en la industria. La recolección debe realizarse tan pronto como sea posible para evitar daños por golpe de sol (Gil y Tudela, 2003). Ésta se puede realizar manualmente o mediante el empleo de maquinaria, dependiendo del cultivo y de las características orográficas del terreno (Haverkort *et al.*, 2002). La cosecha de la yuca, igual que la de la papa (*Solanum tuberosum* L.), se puede llevar a cabo de forma manual o mecánica. En la mayoría de los casos y dependiendo de la orografía del terreno la recolección de la yuca se realiza manualmente (Foto 3). Otro tubérculo, como es la zanahoria (*Daucus carota* L.), se cosecha en estado inmaduro, cuando las raíces han alcanzado suficiente tamaño para llenar la punta y desarrollar un adelgazamiento uniforme (Cubas *et al.*, 2006).



Foto 3. Recolección a mano de yuca en la Isla de El Hierro.

1.6.2. Selección de la materia prima

Para la obtención de un producto mínimamente procesado de calidad es necesario realizar una adecuada selección del material vegetal, de manera que, éste tenga las características más idóneas para su posterior transformación.

1.6.2.1. Selección de la variedad

Para un mismo tubérculo, cada variedad proporciona atributos de calidad específicos tales como color, sabor, olor, textura y valor nutritivo. Debido a esto, es especialmente importante la adecuada selección de la variedad ya que unas son más aptas para el procesado que otras, presentando menores pérdidas de calidad durante la comercialización del tubérculo mínimamente procesado. Ahvenainen y Hurme (1994) señalaron que la selección apropiada de la variedad de papas, zanahorias y cebollas es un factor importante a tener en cuenta en el procesado mínimo de estos tubérculos. Vieira *et al.* (2005) estudiaron la aptitud al procesado mínimo de distintas variedades de zanahoria y observaron que la variedad “Esplanada” era la más adecuada debido a su formato cilíndrico, alargado y fino, coloración naranja intensa y uniforme y baja incidencia de hombros verdes, en relación a las variedades del grupo Brasilia. Cantos *et al.* (2002) estudiaron la susceptibilidad al pardeamiento de cinco variedades de papa (“Agria”, “Cara”, “Liseta”, “Monalisa” y “Spunta”) una vez que el producto fue procesado e indicaron que la variedad “Agria” fue la que presentó menor susceptibilidad a este deterioro. Gallego *et al.* (2006) evaluaron la aptitud para la transformación industrial de seis variedades de papas (“Agria”, “Désirée”, “Europa”, “Hérmes”, “Kennebec” y “Stemster”). Solamente la variedad “Agria” cumplió con los requisitos exigidos por la industria: forma oval-alargada, calibre mayor de 55 mm, contenido en azúcares reductores inferior a 2,5 g/kg, materia seca > 200 g/kg y resistencia al oscurecimiento en crudo y cocinado. “Désirée” y “Kennebec” resultaron sensibles al pardeamiento en crudo. Hasbún *et al.* (2009) evaluaron la

aptitud para la transformación industrial de tres variedades de papas recién introducidas en Costa Rica (“MNF-41”, “MNF-72” y “MNF-80”) y de la tradicional en ese país “Floresta” y observaron que la variedad “MNF-80” mostró un contenido superior en sólidos solubles totales y almidón que la variedad “Floresta”. Las papas de la variedad “Monalisa” mínimamente procesadas presentaron un 86% más de actividad de la enzima peroxidasa (a 5°C) que las de la variedad “Agata” después de ser procesadas (Pineli *et al.*, 2006). En el caso de la batata (*Ipomoea batatas* L.), las variedades “Brazlândia Roxa” y “Brazlândia Branca” fueron menos susceptibles al pardeamiento que la variedad “Princesa”, que fue calificada como de calidad inaceptable para su uso después de cinco días de conservación a 3°C (Moretti *et al.*, 2002). Asimismo, existen diversos estudios en los que se relaciona la variedad de yuca con la susceptibilidad al deterioro fisiológico (Montaldo, 1973; Pereira, 1977; Lozano *et al.*, 1978; Montaldo, 1985; Wheatley *et al.*, 1985; Cortés *et al.*, 2002). Montaldo (1985) realizó un estudio con 69 variedades de yuca conservadas a 25°C y observó que las variedades “UCV-2015”, “UCV-2194”, “UCV-2200” y “UCV 2201” fueron muy resistentes al deterioro fisiológico, 18 variedades resistentes, 10 variedades algo resistentes y 37 variedades algo o muy susceptibles a dicho deterioro. En un estudio de 26 variedades de yuca, Borges *et al.* (2002) señalaron que todas las variedades fueron susceptibles al deterioro fisiológico postcosecha. Después de seis días de almacenamiento a temperatura ambiente dicho deterioro varió entre un 50% para las variedades “Manteiga”, “Amansa burro” y “IAC-12-442” y un 85% para “Arizoninha branca” y “Três meses”. Fernández *et al.* (1988) describieron como la variedad “Criolla del Zamorano” y “CMC-309-163” presentaron menor deterioro fisiológico que las variedades “Mangi” y “Valencia” (Tabla 2).

Tabla 2. Susceptibilidad al deterioro fisiológico de distintas variedades de yuca (Fernández *et al.*, 1988; Borges *et al.*, 2002).

Variedad	País	Edad fisiológica del cultivo	Susceptibilidad al deterioro	Referencias
“Mangi”	Costa Rica	11 meses	++++	Fernández <i>et al.</i> (1988)
“Valencia”	Costa Rica	11 meses	++++	Fernández <i>et al.</i> (1988)
“Méjico 59”	Costa Rica	11 meses	++	Fernández <i>et al.</i> (1988)
“CMC-40”	Costa Rica	11 meses	+++	Fernández <i>et al.</i> (1988)
“Japonesa”	Costa Rica	11 meses	+++	Fernández <i>et al.</i> (1988)
“Criolla del Zamorano”	Costa Rica	11 meses	+	Fernández <i>et al.</i> (1988)
“CMC-309-163”	Costa Rica	11 meses	+	Fernández <i>et al.</i> (1988)
“Arizoninha Branca”	Brasil	10 meses	++++	Borges <i>et al.</i> (2002)
“IAC-12-442”	Brasil	10 meses	+++	Borges <i>et al.</i> (2002)

-, variedad que no sufre deterioro fisiológico postcosecha; +, susceptibilidad baja; ++, susceptibilidad media; +++, susceptibilidad alta; +++++, susceptibilidad muy alta.

Además, se ha visto que características varietales como la longitud de las raíces y la presencia de pedúnculos largos, son factores que afectan a la incidencia de daños mecánicos de las raíces durante la cosecha (Wheatley, 1982). Por otro lado, hay estudios en los que se relaciona el contenido en materia seca con el grado de deterioro fisiológico de la yuca, tal y como determinaron Carvalho *et al.* (1982) y Data *et al.* (1984) al observar un retardo en el proceso de dicho deterioro cuando los tubérculos presentaron un porcentaje de humedad por encima del 58%.

1.6.2.2. Transporte del tubérculo desde el campo a la planta de procesado

La materia prima que se va a procesar se recibe directamente del campo, donde previamente se ha realizado una primera selección, eliminando aquellos productos que presenten heridas, malformaciones, roces, etc. El transporte a la

industria procesadora debe ser lo más rápido posible, evitando los golpes y los cambios bruscos de temperatura. Existen tres vías de transporte: marítimo, aéreo y terrestre. El transporte marítimo, en bodegas refrigeradas o en contenedores con sistemas de frío, es el principal medio utilizado en el comercio internacional de frutas y hortalizas por ser el más económico y especializado para la exportación de un alto volumen de productos frescos. El transporte aéreo resulta necesario para la movilización de material vegetal perecedero que exige velocidad en su desplazamiento. Este medio ofrece ventajas como rapidez en la entrega, mayor cobertura geográfica y mayores frecuencias en el transporte; en contraposición, es el medio de transporte más costoso. Por último el transporte terrestre en contenedores refrigerados es un modo complementario a los demás y apropiado para la movilización de pequeños volúmenes a distancias relativamente cortas (Lobo y González, 2003). Las papas son transportadas en sacos grandes o en cajones y la temperatura durante el transporte debe estar entre 10 y 24°C para evitar la acumulación de azúcares o el desarrollo de microorganismos (Smith, 1987). Reina *et al.* (1996) realizaron un estudio sobre el transporte de yuca de la variedad “Veguna” y observaron que las pérdidas (11%) eran ocasionadas principalmente por el transporte en cargas mixtas. La colocación de la carga y el material en el que se transportan estos tubérculos son también factores a tener en cuenta.

Posteriormente, una vez que la materia prima llega a la industria se realiza una segunda selección y clasificación, eliminando aquellos productos que presenten algún tipo de deterioro que pudiera haberse producido durante el transporte. En las zanahorias se seleccionan tubérculos firmes, rectos con un adelgazamiento uniforme desde los *hombros* hasta la *punta*, de color naranja brillante, con pocas raicillas laterales, con ausencia de *hombros verdes* o *corazón verde* por exposición a la luz solar durante la fase de crecimiento, bajo amargor por compuestos terpénicos y alto contenido en humedad y azúcares reductores. La

clasificación de la papa se hace en función del tipo de presentación que se quiera obtener en el procesado. Para procesar en forma de rodajas el tamaño de la papa será mediano, en cambio para obtener bastones se seleccionarán papas alargadas (Gil y Tudela, 2003). A continuación, el tubérculo es almacenado en condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa para así asegurar la calidad del producto antes de su procesamiento.

1.6.2.3. Tipo de terreno de cultivo

En general, el tipo de terreno influye en la calidad final de los tubérculos. Así, los mejores suelos para el cultivo de la papa son los orgánicos, fértiles, porosos, profundos y bien drenados. El grado de compactación del suelo en el que se cultivan los tubérculos también es un factor importante a tener en cuenta, porque está directamente relacionado con el deterioro de estos productos durante la postcosecha. Así, durante el desarrollo de los tubérculos la raíz no debe encontrar mucha resistencia al crecimiento, por eso no son convenientes los suelos arcillosos ya que impiden una buena formación de los tubérculos y además dificultan la cosecha (Reina *et al.*, 1996).

1.6.2.4. Edad fisiológica del tubérculo

La edad fisiológica del tubérculo en el momento de la recolección es un factor importante a la hora de prolongar la vida útil del producto mínimamente procesado con una calidad sensorial óptima. En el caso de la papa los índices de recolección más importantes son: la pérdida de adhesividad de la piel, la senescencia de las hojas y el contenido en almidón y en sólidos solubles totales (Gil y Tudela, 2003). Una adecuada edad fisiológica de los tubérculos asegurará un contenido relativamente alto en materia seca, así como un mínimo en azúcares reductores lo que redundará en una elevada calidad tras el cocinado del producto (Haverkort *et al.*, 2002). Barry-Ryan y O'Beirne (2000) encontraron que la edad

fisiológica de las zanahorias afectó de forma importante a la calidad de este tubérculo cuando fue pelado, cortado y conservado a 8°C. Así, el deterioro microbiológico y el exudado del tejido aumentaron con la edad fisiológica de los tubérculos. La turgencia de los tejidos, la integridad celular y la tasa respiratoria fue mayor en las zanahorias de menor edad fisiológica. Hirose *et al.* (1984b) observaron que la yuca, de la variedad “Golden Yellow”, recogida después de nueve meses de su cultivo produjo más etileno y sufrió mayor deterioro fisiológico que la de menor edad fisiológica (cinco meses). Oliveira y Moraes (2009a) evaluaron la calidad físico-química de yuca de la variedad “IAC-576-70” de edades fisiológicas comprendidas entre los seis y doce meses y recomendaron la recogida de la yuca después de nueve meses de cultivo.

Según Coursey y Booth (1971), la recolección de la yuca debe hacerse en la condición fisiológica óptima de madurez de la raíz en función de la finalidad que se le vaya a dar al tubérculo. Si la finalidad es el consumo en fresco, en Costa Rica, se recolecta entre los nueve y doce meses (Vries, 1985) y en Canarias entre los 16 y 18 meses. Si la finalidad es el procesado mínimo del tubérculo dicha edad fisiológica no ha sido establecida.

1.6.3. Temperatura de conservación del tubérculo antes del procesado

La temperatura es un punto crítico a la hora de elaborar productos mínimamente procesados. La cadena de frío debe comenzar lo antes posible tras la recolección en el campo y debe mantenerse hasta que vaya a ser consumido (Wiley, 1997). En general, los productos hortofrutícolas no son procesados una vez que llegan a la planta de procesado y, por tanto, tienen que someterse a esta operación de pre-refrigeración lo antes posible. Lo que se consigue con la pre-refrigeración es ralentizar todos los procesos metabólicos y además minimizar los daños y alteraciones en el producto (Cantwell y Suslow, 2002). La pre-refrigeración se puede realizar con aire forzado, con agua, hielo o con vacío para

disminuir lo más rápido posible la temperatura que trae el producto de campo. Posteriormente los tubérculos se almacenan bajo refrigeración durante unas horas o algún día. Es de vital importancia la selección de la temperatura óptima de conservación del producto entero, sobre todo en aquellos productos que son sensibles a sufrir daños por frío. En general, dichos productos no pueden ser almacenados a temperaturas que estén por debajo de los 10°C, debido a que desarrollan desórdenes fisiológicos (Salveit, 1997). Las zanahorias antes del procesado han de conservarse entre 0 y 10°C, las papas entre 10 y 15°C, los nabos a 0°C y la yuca entre 0 y 10°C (Cantwell, 2001). En el caso de la papa los daños por frío se manifiestan por la aparición de áreas pardo-rojizas en la pulpa (Brecht, 2003). Además, a temperaturas por debajo de los 4°C se produce la conversión del almidón en azúcares reductores, con graves consecuencias para su posterior procesado debido al desarrollo del pardeamiento no enzimático (Smith, 1987) y de sabores dulces en el tubérculo.

1.6.4. Lavado del tubérculo entero

La contaminación microbiológica es uno de los problemas más importantes de pérdida de calidad asociado con el procesado mínimo de productos hortofrutícolas. Esta alteración representa pérdidas económicas muy significativas para todas las industrias implicadas en la cadena de distribución (Alberghini *et al.*, 2000). Dado que la conservación de este tipo de productos no utiliza técnicas de esterilización, unas prácticas agronómicas y unas condiciones de elaboración y conservación no apropiadas podrían suponer un grave riesgo para la salud de los consumidores debido al desarrollo de microorganismos patógenos (Brackett, 1994; Szabo *et al.*, 2000) para los humanos.

En consecuencia, el lavado e higienización de los productos enteros antes del procesado es imprescindible para la separación de los restos provenientes del campo (hojas, raicillas, tierra, suciedad, etc.), eliminación de plagas y pesticidas y

además, para disminuir la carga inicial de microorganismos en el producto. Los tubérculos se desarrollan debajo de la tierra lo que hace que esta etapa de lavado sea muy importante, aunque vayan a ser pelados posteriormente, ya que en su superficie presentan gran suciedad y una alta carga microbiana. Además, la introducción de tierra en los equipos de pelado puede provocar un desgaste excesivo y, por tanto, un incremento en el coste de mantenimiento de las máquinas peladoras (Gil y Tudela, 2003).

El acondicionamiento previo de los tubérculos se realiza en una zona refrigerada denominada *zona sucia*. La aplicación de cloro en el agua de lavado y en el material que se va utilizar en el procesado es una práctica común en la industria de los productos procesados (Beuchat, 1992). Normalmente se emplean concentraciones de 50-200 mg/l de hipoclorito sódico, tiempos de contacto entre el tubérculo y el agua de lavado por encima de 5 minutos (Simons y Sanguansri, 1997; Francis y O'Beirne, 2002) y un volumen de agua de 5-10 l agua/kg producto. Cuando se emplea cloro en el agua de lavado, su efectividad se ve incrementada empleando agua de alta calidad microbiológica y seleccionando un tiempo de tratamiento adecuado (Delaquis *et al.*, 1999). Además, hay que tener en cuenta que la acción del cloro depende de la cantidad de cloro libre disponible, especialmente en forma de ácido hipocloroso. En disoluciones acuosas el equilibrio entre el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito depende del pH, aumentando el primero a medida que el pH y la temperatura disminuyen. Por eso, normalmente, las disoluciones se ajustan a un pH entre 6,0 y 7,0. El lavado de las zanahorias enteras con agua clorada (200 mg/l, 4°C) durante 2 minutos aseguró la retención de los azúcares del tubérculo y redujo el contenido en microorganismos aerobios mesófilos en 1,7 Log (ufc/g) (Klaiber *et al.*, 2005). El lavado con agua clorada a 50°C incrementó la reducción de mesófilos en 2,3 Log (ufc/g) respecto al contenido del tubérculo entero sin lavar. En estudios realizados por Vitti *et al.* (2004a) se evaluó el lavado con agua clorada de beterrada (*Beta vulgaris* L.) antes

y después del pelado, aunque antes de dicho lavado, los tubérculos fueron lavados con agua corriente con el fin de eliminar la suciedad adherida a la superficie de los mismos. Observaron que en las beterradas lavadas después del pelado las pérdidas de pigmentos y del color fueron menores y además la calidad higiénico-sanitaria del producto fue adecuada. El lavado de la yuca entera antes del procesado mínimo se realiza con agua corriente; así, de esta manera, se elimina la tierra que pudiera quedar adherida a la superficie del tubérculo (Oliveira *et al.*, 2003; Alves *et al.*, 2005; Lund *et al.*, 2005a).

Para el lavado de los tubérculos enteros, además del cloro, también se han evaluado otros tratamientos físicos como el ozono. Klaiber *et al.* (2004) higienizaron zanahorias enteras y peladas que se introdujeron en agua ozonizada (1,3 mg/l); sin embargo, estos autores encontraron que este tratamiento no fue tan efectivo como el tratamiento con cloro desde el punto de vista de la calidad higiénico-sanitaria del producto cortado.

Aparte de las condiciones higiénicas en las que debe de estar el producto entero antes del procesado, es necesario tener en cuenta la higienización de las instalaciones y de los utensilios que se van a utilizar durante el procesado, la higiene de los manipuladores de los productos, al mismo tiempo que se tiene que controlar la temperatura a la que se va a trabajar (Wiley, 1997).

1.6.5. Pelado y troceado del tubérculo

El pelado y el cortado de los tubérculos son etapas críticas que influyen de manera determinante sobre la calidad del producto final y por lo tanto deben llevarse a cabo con el mayor cuidado posible, evitando producir daños en los tejidos. Estas operaciones favorecen la pérdida de firmeza del producto, ya que durante las mismas se produce la liberación de enzimas proteolíticas y pectinolíticas, responsables de la pérdida de textura de los tejidos. Además, los productos hortofrutícolas mínimamente procesados pueden presentar tendencia a

la desecación superficial y a la pérdida de peso debido a la disminución en el contenido de agua (Mercado-Silva y Aquino-Bolaños, 2005). Durante estas etapas tienen lugar importantes alteraciones fisiológicas en el producto, como son el incremento de la tasa de respiración, de la transpiración y de la síntesis de etileno (Abe y Watada, 1991). Cuanto mayor es el grado de procesado mayor es la tasa respiratoria del tubérculo. Las papas cortadas por la mitad respiraron un 33% más que las papas enteras peladas y, a su vez, las rodajas de papa de 2 cm de grosor respiraron un 34% más que las mitades de papa (Matilla *et al.*, 1995). Las beterradas cortadas en rodajas de 2 mm de grosor respiraron menos que las cortadas en rodajas de 6 y 10 mm de grosor (Kluge *et al.*, 2006).

Por otro lado, el incremento de la intensidad respiratoria provoca una pérdida de azúcares y de otros metabolitos que intervienen en el ciclo de la respiración, afectando directamente a la calidad sensorial del producto mínimamente procesado (Lamikanra *et al.*, 2000).

Además, se producen alteraciones o cambios bioquímicos inducidos por la ruptura de las células vegetales provocando la salida de los productos intercelulares, de tal manera que se facilita el mecanismo de reacción en el que las enzimas oxidativas entran en contacto con sus sustratos correspondientes, dando lugar a diversas reacciones de degradación. Entre ellas la más importante es el pardeamiento enzimático (Whitaker y Lee, 1995) en el que los compuestos fenólicos son oxidados hasta quinonas mediante reacciones catalizadas por enzimas denominadas polifenoloxidasas. Durante este proceso también se producen reacciones de polimerización que dan lugar a compuestos coloreados o melaninas produciendo el pardeamiento superficial del producto, lo que da lugar a cambios en el color y a metabolitos que provocan sabores y olores extraños. El grado de pardeamiento que sufren los productos mínimamente procesados depende de la concentración y tipo de compuestos fenólicos presentes en los mismos, de la actividad de la polifenoloxidasa, la presencia de oxígeno y la

compartimentalización de las enzimas y sustratos (Nicoli *et al.*, 1994; Rocha *et al.*, 1998). El pardeamiento superficial es un problema observado en diversos tubérculos y bulbos: papas (Sapers *et al.*, 1990; Tudela *et al.*, 2002a; Tudela *et al.*, 2002b), batatas (Moretti *et al.*, 2002) y ajos (Botrel *et al.*, 2007). En el caso de la yuca procesada, el signo de deterioro más evidente es la presencia de estriado vascular caracterizado, principalmente, por la oxidación de compuestos fenólicos.

Igualmente, las operaciones de pelado y corte pueden producir pérdida de pigmentos responsables del color. El daño mecánico a que se somete el tejido puede acelerar la degradación de compuestos carotenoides y de clorofilas, ya que estos compuestos son inestables cuando se exponen a pH ácidos, al oxígeno o a la luz. En las zanahorias mínimamente procesadas el deterioro de la calidad se caracteriza fundamentalmente por el cambio de color de la superficie como consecuencia de dos mecanismos: uno reversible, originado por la deshidratación parcial de la superficie y que da lugar a una tonalidad blanca (Cisneros-Zevallos *et al.*, 1995) y otro irreversible debido a una respuesta fisiológica (formación de lignina, oxidación de carotenoides, etc.) que origina un cambio de color de naranja intenso a naranja pálido (Bolin y Huxsoll, 1991; Howard y Griffin, 1993; Howard y Dewi, 1996; Cisneros-Zevallos *et al.*, 1997).

La composición, las propiedades físico-químicas y la naturaleza del tubérculo determinan la susceptibilidad de éste al ataque de microorganismos, pero además, el proceso de elaboración, en especial las fases de pelado y corte, son las etapas críticas que determinan la contaminación de los productos mínimamente procesados (Nguyen-The y Carlin, 1994).

Desde el punto de vista tecnológico, la efectividad y el método de pelado influyen sobre la calidad final del producto mínimamente procesado, la mano de obra empleada y la cantidad de subproductos. Aunque existen diversos métodos de pelado, en la mayoría de las industrias este proceso se lleva a cabo mecánicamente, con cuchillas o por abrasión (Abe *et al.*, 1998; Agar *et al.*, 1999).

Así, los tres sistemas de pelado de la papa más habitualmente empleados son: abrasión (con o sin cuchillas), vapor y químico (Gil y Tudela, 2003). En el pelado con vapor de las papas hay que asegurar que la temperatura del tratamiento sea como mínimo 100°C y que dicha temperatura se mantenga constante durante, al menos, 17 segundos para asegurar que la piel se desprenda de forma efectiva de la pulpa del tubérculo (Garrote *et al.*, 2000). Igualmente, el pelado de las zanahorias se realiza normalmente por abrasión. Las rodajas de zanahorias peladas por abrasión presentan tasas respiratorias más altas, mayor contaminación microbiológica, un pH más alto, mayor pérdida de peso y, como consecuencia, una menor vida comercial que los tubérculos pelados a mano (Barry-Ryan y O'Beirne, 2000). En el caso de la yuca (Vilpoux y Cereda, 2003), la eliminación de la piel y la corteza se realiza de forma manual o con máquinas que funcionan con calor o con presión. Sin embargo, cuando el pelado se hace de forma mecánica la eficacia no es completa y el pelado de los tubérculos ha de ser repasado de forma manual. El rendimiento del pelado manual puede variar mucho en función de la calidad de la yuca: entre 80 y 200 kg/persona*día. La disminución del tiempo de almacenamiento de la yuca, realizándose el pelado como máximo un día después de la recolección, o produciéndose el almacenamiento de los tubérculos durante el tiempo entre la recolección y el pelado en agua, permite mejorar la productividad del pelado. Además, el pelado de las raíces más gruesas aumenta también la velocidad de esta etapa tecnológica. El corte manual o mecánico de las raíces lavadas en troncos de 5 a 7 cm de grosor con cuchillos afilados facilita también el pelado. En esta etapa, la pérdida de producto es un parámetro importante a tener en cuenta por la industria ya que no sólo reduce la cantidad de producto a procesar, sino también por el problema medioambiental que supone la eliminación de subproductos. Las pérdidas pueden oscilar entre el 8 y el 20% en función del tipo y estado de los tubérculos (Pavlista y Ojala, 1997) y del método de pelado. Somsen *et al.* (2004) señalaron que el

pelado manual por abrasión de las papas es la mejor técnica para la eliminación de la piel, ya que las pérdidas que se producen durante este proceso son mucho menores (2,5%) que las que tienen lugar durante el pelado al vapor (7,9%). En el caso de las papas, el tamaño influye notablemente en estas pérdidas, aumentando éstas exponencialmente a medida que disminuye el tamaño de la papa (Smith y Huxsoll, 1987). Para la yuca, las pérdidas que se producen en el pelado pueden estar comprendidas entre un 25 y un 40% (Vilpoux y Cereda, 2003)

Una vez pelado el tubérculo se trocea empleando cortadoras automáticas con las que se obtienen distintas presentaciones: bastones, rodajas, cascos, dados, etc. El tipo de corte (rodajas, bastones o tiras) de la zanahoria y, en particular la relación entre la nueva área formada y el peso del tejido influyó claramente en la tasa respiratoria del tejido (Surjadinata y Cisneros-Zevallos, 2003). Resende *et al.* (2004) recomendaron el rallado de la zanahoria, en vez del corte en rodajas, por su mejor color y apariencia, a pesar de que el corte en rodajas mantuvo mejor el aroma y la textura. El método utilizado para realizar el corte o troceado de los productos mínimamente procesados también tiene un efecto muy marcado en la calidad y la vida útil del producto. Los resultados obtenidos por Barry-Ryan y O'Beirne (1998) en zanahoria cortada mecánicamente con cuchillas afiladas o romas señalaron que la vida útil de este tubérculo mínimamente procesado puede aumentar significativamente cuando se minimizan los daños producidos durante el troceado por el uso de cuchillos afilados. Así, el corte con cuchillos afilados mejoró el aspecto del producto debido al menor daño celular producido y al menor exudado del tubérculo; además, en el caso del troceado con cuchillos afilados, la calidad higiénico-sanitaria de la zanahoria fue mejor y se produjo una mayor retención del aroma característico del producto y un menor desarrollo de olores extraños. El troceado de la yuca se puede hacer en troncos, en bastones o en cubos de 1*1 o de 3*3 cm (Vilpoux y Cereda, 2003). El rendimiento del corte varía en función del tipo de presentación y de la variedad. Así, en el corte en

bastones, el rendimiento que se obtiene a partir de la porción del tubérculo que es procesable es del 60%. La presentación de la yuca en forma de *chips* o rodajas de grosor inferior a 1 mm tiene un gran potencial de mercado ya que apenas existen, para los consumidores, productos disponibles de buena calidad. La tecnología de producción de *chips* fritas obtenidas a partir de yuca consiste en las siguientes etapas: pelado (con corte previo de las raíces en troncos de 5-7 cm para facilitar este proceso), pre-cocción, corte, fritura, envasado y almacenamiento (Vilpoux, 2003). Sin embargo, no se ha desarrollado la tecnología para el procesado mínimo de *chips* de yuca. Sí se ha descrito que cuanto más fino sea el corte de las *chips* de yuca (alrededor de 1,5 mm) el producto final será mas crujiente y el tiempo de fritura menor (Vilpoux, 2003). Además, este autor señala que el principal problema encontrado en la producción de *chips* es obtener un producto de corte homogéneo. Para ello se recomienda ejercer una presión lo más constante posible sobre la yuca en el cortador y, para limitar la rotura de las *chips*, los troncos han de colocarse de forma que se produzca un corte perpendicular en el sentido de las fibras.

1.6.6. Lavado del tubérculo troceado y aplicación de tratamientos que minimizan la pérdida de calidad

El lavado después del pelado y troceado elimina los microorganismos que puedan quedar en la superficie del producto y los fluidos celulares, lo que reduce el crecimiento microbiano y las oxidaciones enzimáticas durante el almacenamiento. Además, en el caso de tubérculos como la papa es una etapa fundamental, ya que se elimina el almidón, azúcares y otros nutrientes liberados en la superficie del producto (Cantwell y Suslow, 2002). Se realiza normalmente en baños de agua fría entre 1-5°C (Simons y Sanguansri, 1997). La calidad microbiológica y sensorial del agua debe ser buena, en cantidad de unos 5-10 l/kg de producto.

El agua de lavado muchas veces sirve como vehículo para la aplicación de tratamientos antioxidantes, texturizantes y/o higienizantes que en ningún caso deben afectar al aroma y sabor del producto ni a su seguridad.

Dado que muchos de los productos que son demandados por los consumidores son altamente sensibles al pardeamiento enzimático, se ha prestado especial interés al estudio de la inhibición de las reacciones que producen este deterioro en las papas y las batatas (Molnar-Perl y Friedman, 1990; Sapers y Miller, 1993). Tradicionalmente, para evitar la aparición de este deterioro se ha empleado la adición de sulfito o metabisulfito de sodio o potasio como disolución antioxidante (Juneja *et al.*, 1998; Petri *et al.*, 2008). Estos compuestos están prohibidos en EE.UU., aunque en España están permitidos en alimentos como papas deshidratadas, en productos sin elaborar como las uvas de mesa y el litchi fresco y otros productos (salchichas frescas, crustáceos y moluscos) (Real Decreto 1118/2007). Su empleo está sujeto a problemas ya que puede desencadenar crisis asmáticas en personas alérgicas. Debido a esto, se ha potenciado la investigación de tratamientos alternativos a los sulfitos como los antioxidantes y los correctores de acidez y los secuestrantes de metales, ya que inhiben la actividad de la polifenoloxidasas. Uno de los compuestos ampliamente empleado como alternativo en la inhibición del pardeamiento es el ácido ascórbico o algunas de sus sales (Limbo y Piergiorganni, 2006; Rocculi *et al.*, 2007; Petri *et al.*, 2008). Así, Sapers *et al.* (1990) estudiaron la inhibición del pardeamiento de papas peladas mediante el empleo de tratamientos con derivados del ácido ascórbico e infiltración al vacío y con presión. Sapers y Miller (2006) observaron en papa mínimamente procesada que la aplicación en el agua de lavado de ácido ascórbico en combinación con ácido fosfórico inhibió el pardeamiento enzimático de los tubérculos durante cinco y siete días de conservación, respectivamente. Otros compuestos ampliamente utilizados con este fin son el ácido cítrico y el ácido málico (Limbo y Piergiorganni, 2006; Rocculi *et al.*, 2007; Petri *et al.*, 2008). Rocculi *et al.* (2007)

observaron que al aplicar ácido cítrico, ácido ascórbico o L-cisteína se producía una disminución del pardeamiento de la papa mínimamente procesada, aunque la inhibición de este deterioro fue mucho mayor cuando aplicaron L-cisteína. Kervinen *et al.* (2001) obtuvieron buenos resultados frente al pardeamiento cuando utilizaron ácido málico 0,25% y ácido ascórbico 0,5% en rodajas de papas. Otros autores (Pineli *et al.*, 2005a) estudiaron el efecto del ácido cítrico y del ácido eritórbico y la combinación de ambas sustancias antioxidantes sobre el procesado mínimo de papas de la variedad “Ágata” y observaron que la aplicación de sustancias antioxidantes combinadas y además en asociación con una atmósfera modificada hizo que los tubérculos presentaran un índice de oscurecimiento menor que el de las raíces tratadas con cada uno de los antioxidantes de forma individual. Por otro lado, la aplicación de estos compuestos afectan a la actividad fisiológica de los productos mínimamente procesados, tal y como demostraron Petri *et al.* (2008) al observar una mayor disminución de la tasa respiratoria en rodajas de papas cuando utilizaron en el agua de lavado la combinación de metabisulfito sódico, ácido ascórbico y ácido cítrico que la producida al evaluar cada compuesto por separado. Además, Kluge *et al.* (2008) determinaron que la aplicación de ácido cítrico en el agua de lavado de beterrada mínimamente procesada disminuyó la actividad respiratoria y la degradación de los pigmentos betacianina y betaxantina, característicos de dicho tubérculo, lo cual contribuyó a extender la vida útil del producto hasta diez días de conservación. Oliveira *et al.* (2003) estudiaron el efecto del lavado de trozos de yuca con agua clorada (200 mg/l de hipoclorito sódico) y ácido cítrico (50 g/l). Además, evaluaron distintos tiempos de lavado del tubérculo, así como el tiempo de contacto entre los trozos de yuca y el agente antioxidante (5, 10 y 15 minutos). Observaron que a los 28 días de conservación a 4°C, los trozos de yuca lavados con agua clorada y tratados con ácido cítrico no presentaron estriado vascular; sin embargo, los trozos que no fueron higienizados (control) y los que no fueron

tratados con el agente higienizante manifestaron de manera severa dicho deterioro. Por otro lado, dichos autores concluyeron que la higienización de los trozos de yuca durante 15 minutos y un tiempo de contacto, entre el ácido cítrico y el tubérculo, de 5 minutos ralentizó la aparición del estriado vascular. En la [Tabla 3](#) se muestra un resumen de los tratamientos químicos aplicados al agua de lavado de los tubérculos con el fin de evitar el pardeamiento enzimático.

Tabla 3. Tratamientos químicos aplicados a tubérculos para minimizar el pardeamiento enzimático.

Tubérculo	Agentes evaluados	Agente óptimo	Referencias
Papas	L-cisteína 0,5% L-cisteína 0,5% + AC 2% AA 5% Metabisulfito potásico 0,1%	L-cisteína 0,5% + AC 2%	Gunes y Lee (1997) En Laurila <i>et al.</i> (1998)
Papas	AC (0,1 ó 0,5%) AA (0,1 ó 0,5%)	AC 0,1% + AA 0,5%	Ahvenainen <i>et al.</i> (1998) En Laurila <i>et al.</i> (1998)
Papas	Sulfitos Adición de CO ₂ y N ₂ en el agua de lavado	CO ₂	Kaaber <i>et al.</i> (2002)
Papas	AC, AA y L-cisteína	L-cisteína	Rocculi <i>et al.</i> (2007)
Papas	AM AA Bisulfito sódico	0,25% AM + 0,15% AA	Kervinen <i>et al.</i> (2001)
Papas	AC AE	2% AC + 3% AE	Pineli <i>et al.</i> (2005b)
Papas	AC AA	AC	Limbo <i>et al.</i> (2006)
Papas	AA AC Metabisulfito	AA + AC + Metabisulfito	Petri <i>et al.</i> (2008)
Beterrada	AC (0-2.000 mg/l)	AC (2.000 mg/l)	Kluge <i>et al.</i> (2008)

AA, ácido ascórbico; AC, ácido cítrico; AM, ácido málico; AE, ácido eritórbito.

Otra técnica aplicada para retrasar el pardeamiento enzimático, es la adición de dióxido de carbono y nitrógeno en el agua de inmersión de las papas mínimamente procesadas (Kaaber *et al.*, 2002).

Para evitar el pardeamiento durante el procesado mínimo de tubérculos también se recurre al uso de recubrimientos comestibles. Los recubrimientos son combinaciones de lípidos, polisacáridos y/o proteínas con un agente plastificante y se caracterizan por la capacidad que tienen para crear una barrera que regula el transporte gaseoso (dióxido de carbono y oxígeno) entre el alimento y el ambiente que lo rodea. Así, limitan la actividad de la enzima polifenoloxidasas al disminuir la presencia de oxígeno y en consecuencia, pueden minimizar el pardeamiento enzimático en los tubérculos que son susceptibles a este deterioro. Baldwin *et al.* (1996) describieron como el uso de recubrimientos comestibles basados en celulosa (carboximetilcelulosa) no fue eficaz en la reducción del desarrollo de pardeamiento en papas, de la variedad “Russet”, mínimamente procesadas. Sin embargo, la combinación de carboximetilcelulosa con antioxidantes como el 0,5% ácido ascórbico y 0,02% terbutil-hidroquinona y acidulantes como el ácido cítrico (junto con otros aditivos conservantes) retrasó el pardeamiento de la papa aumentando la vida útil de este producto en una semana respecto al tubérculo lavado en agua o con las disoluciones antipardeamiento en agua (sin combinación con el recubrimiento). Waimaleongora-Ek *et al.* (2008) evaluaron la aplicación de quitosano al 1% en batatas mínimamente procesadas de la variedad “Beauregard” y observaron que al aplicar este recubrimiento se mantuvo mejor el color de la superficie del tubérculo durante 17 días de conservación a 4°C con respecto a las raíces a las que no se aplicó el recubrimiento.

Con el objetivo de minimizar la decoloración de las zanahorias a tonalidades blancas típica del producto mínimamente procesado también se han aplicado recubrimientos comestibles. Así, Avena-Bustillos *et al.* (1994) observaron que la aplicación de caseinato sódico y ácido esteárico en zanahorias mínimamente

procesadas retardó la aparición de dicho deterioro. Además, Mei *et al.* (2002) emplearon goma xantana en combinación con sales de calcio o α -tocoferol y observaron que las características organolépticas y en especial el índice de blanqueamiento de las zanahorias mínimamente procesadas se mantenían en buenas condiciones durante tres semanas. Puschmann *et al.* (2007) aplicaron en minizanahorias un recubrimiento comestible antimicrobiano compuesto por almidón y quitosano, con el fin de evitar el blanqueamiento superficial y prolongar la vida útil del producto. En las zanahorias control (sin recubrimiento) los síntomas de blanqueamiento aparecieron en las extremidades del tubérculo a partir del tercer día de conservación, en cambio, en las que fueron sumergidas en el recubrimiento los cambios se observaron a partir del sexto día. Simões *et al.* (2009) señalaron que la aplicación de quitosano, combinado con atmósferas modificadas, en tiras de zanahorias mantuvo la calidad visual del tubérculo procesado durante doce días de conservación a 4°C y además, ralentizó la aparición del blanqueamiento superficial. Sin embargo, Henrique y Evangelista (2006) evaluaron tres recubrimientos comestibles (almidón natural de yuca al 3% o almidón modificado de yuca al 3% combinado con un gel de carboximetilalmidón de baja o alta viscosidad) en rodajas de zanahoria conservadas durante ocho días a 15°C y en el análisis visual no observaron diferencias entre tratamientos respecto al control (sin recubrimiento).

En la **Tabla 4** se muestra un resumen de los recubrimientos comestibles aplicados a distintos tubérculos.

Tabla 4. Recubrimientos comestibles aplicados a distintos tubérculos.

Tubérculo	Recubrimiento óptimo	Efecto sobre la calidad	Referencias
Zanahoria	Nature Seal	-Mejoró calidad sensorial -Retuvo carotenoides	Howard y Dewi (1996)
Zanahoria	Alcohol polihídrico, almidón y cloruro cálcico	-Ralentizó blanqueamiento superficial	Cisneros-Zevallos <i>et al.</i> (1997)
Zanahoria	Recubrimiento a base de celulosa	-Ralentizó blanqueamiento superficial -Retuvo carotenoides	Li y Barth (1998)
Zanahoria	Goma de xantana, sales de calcio y α -tocoferol	-Ralentizó blanqueamiento superficial	Mei <i>et al.</i> (2002)
Zanahoria	Almidón de ñame, glicerol y quitosano	-Antimicrobiano	Durango <i>et al.</i> (2006)
Zanahoria	Almidón natural o modificado de yuca o carboximetilalmidón	-Mejoró calidad sensorial	Henrique y Evangelista (2006)
Zanahoria	Suero de leche	-Mejoró calidad sensorial -Ralentizó blanqueamiento superficial	Martin-Diana <i>et al.</i> (2006)
Zanahoria	Nature Seal	-Mejoró calidad sensorial -Ralentizó blanqueamiento superficial	Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007)
Zanahoria	Disolución polipéptidos	-Mejoró calidad sensorial	Pereira <i>et al.</i> (2008)
Zanahoria	Almidón de maíz, quitosano, glicerol y ácido acético glacial	-Ralentizó blanqueamiento superficial	Puschmann <i>et al.</i> (2007)
Zanahoria	Hidroxipropilmetilcelulosa, monoesterato de sorbitan y palmitato de sacarosa	-Minimizó pérdida de agua	Villalobos-Carvajal <i>et al.</i> (2009)
Papa	Carboximetilcelulosa, ácido cítrico, ácido ascórbico y terbutil-hidroquinona	-Retrasó pardeamiento	Baldwin <i>et al.</i> (1996)
Batata	Quitosano	-Retrasó pardeamiento	Waimaleongora-Ek <i>et al.</i> (2008)

Para evitar la modificación de la textura de los tubérculos mínimamente procesados se aplican disoluciones de sales de calcio en el agua de lavado, como el cloruro de calcio, tartrato cálcico, propionato cálcico o lactato cálcico (Severini *et al.*, 2003a; Severini *et al.*, 2003b; Rico *et al.*, 2007). Martín-Diana *et al.* (2005) compararon el efecto que tenía sobre la firmeza de rodajas de zanahoria el lavado con lactato cálcico (30 g/l) o con hipoclorito sódico (120 mg/l), concluyendo que el mantenimiento de la firmeza del tubérculo fue similar para ambos tratamientos. Además, el efecto de ambos tratamientos sobre los parámetros relacionados con la calidad y con el valor nutricional del tubérculo fue similar. Sin embargo, Rico *et al.* (2007) observaron que durante diez días a 4°C, las rodajas de zanahoria tratadas con lactato cálcico (15 g/l, a 25 y 50°C) mantuvieron la textura significativamente mejor que las que habían sido tratadas con agua clorada (120 mg/l de hipoclorito sódico). Severini *et al.* (2003b) mostraron que al escaldar en un microondas cubos de papas (1*1 cm), de la variedad “Primura”, en una disolución de cloruro cálcico (0,02% w/w) y cloruro sódico (3% w/w) durante 5 minutos, se mantuvo mejor la firmeza de los cubos que cuando fueron escaldados en una solución de cloruro de sodio o con agua. Además, Severini *et al.* (2004) observaron que la firmeza de las rodajas de papas se mantuvo mejor cuando éstas fueron escaldadas (en un microondas) en una solución de cloruro cálcico. Sin embargo, al escaldarlas en una solución de cloruro de sodio se produjo una deshidratación de las rodajas que evidenciaba la pérdida de turgor de las mismas.

Por otro lado, Tay y Perera (2004) describieron que los polisacáridos y las proteínas contenidos en los recubrimientos comestibles son eficaces para reforzar las membranas celulares y por tanto mantener la textura. Así, Carrasco y Cisneros-Zevallos (2002) estudiaron el efecto individual y combinado de las operaciones de escaldado a baja temperatura en medio ligeramente ácido y la humectación superficial con glicerol para evitar el blanqueamiento superficial. La inmersión del producto pelado en un baño a 70°C durante 30 segundos

acompañado de una modificación del pH (Bolin y Huxsoll, 1991) inhibió la lignificación de la zanahoria. Martín-Diana *et al.* (2006) evaluaron si la aplicación de distintas concentraciones de suero proteico (0,5, 1,5 y 3%) o la higienización de las rodajas de zanahorias con agua clorada (120 mg/l) afectaba a la textura de las mismas. Dichos autores no observaron diferencias en la textura entre los tratamientos aplicados, aunque sí detectaron, independientemente del tratamiento, un incremento de la firmeza a los diez días de conservación a 4°C. Dicho incremento se debió a la pérdida de turgor celular, asociado a la pérdida de agua del tubérculo, haciendo que la superficie del tubérculo adquiriera mayor flexibilidad y por tanto ofreciera mayor resistencia a ser penetrado. Amanatidou *et al.* (2000) observaron que la combinación de un recubrimiento comestible a base de alginato y cloruro cálcico (2%) con ácido cítrico (0,1%) y altas concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono mantuvo la firmeza de las rodajas de zanahoria durante ocho días de conservación a 8°C.

Otro de los factores a tener en cuenta cuando se procesa un tubérculo es mantener la humedad relativa alrededor del producto para reducir el déficit de presión de vapor y por tanto minimizar la pérdida de agua. El tratamiento químico más utilizado y eficaz para evitar este tipo de deterioro en los productos mínimamente procesados es la utilización de recubrimientos comestibles. Tal y como demostraron Villalobos-Carvajal *et al.* (2009) al evaluar en rodajas de zanahorias un recubrimiento comestible compuesto por hidroxipropilmetilcelulosa y una mezcla de un agente surfactante hidrofóbico (monoestearato de sorbitan) con otro hidrofílico (palmitato de sacarosa) en presencia o no de etanol. Al aplicar dicho recubrimiento comestible en presencia de etanol se mantuvo mejor la humedad alrededor del producto, minimizando de esta manera la pérdida de agua de las rodajas. Sin embargo, Henrique y Evangelista (2006) no observaron dicho comportamiento cuando evaluaron en rodajas de zanahoria la aplicación de dos tipos de recubrimientos comestibles: almidón natural de yuca y almidón

modificado de yuca; en ambos tratamientos y en el control (sin recubrimiento comestible) se produjo una pérdida de peso del producto similar durante los ocho días de conservación a 15°C. En el caso de la papa, también se han utilizado recubrimientos comestibles a base de celulosa para minimizar la pérdida de peso durante la conservación (Baldwin *et al.*, 1996). Además, estos autores observaron que la adición de proteínas de soja, de acidulantes (ácido cítrico) y de antioxidantes (ácido ascórbico o terbutilhidroquinona) a la formulación original del recubrimiento Nature Seal® fue eficaz en el control de la pérdida de peso durante siete días a 4°C, especialmente cuando el pH del recubrimiento fue ajustado al punto isoeléctrico de la proteína.

El método más extendido para la desinfección de productos hortofrutícolas mínimamente procesados es el cloro, tanto en su forma gaseosa o como hipoclorito sódico, debido a su bajo coste y facilidad de uso. El hipoclorito sódico se añade al agua de lavado a una concentración entre 50-150 mg/l y su efectividad está en función del pH, ya que la eficacia bactericida del cloro es óptima a pHs comprendidos entre 6,0 y 7,0. Klaiber *et al.* (2004) observaron que el lavado de tiras de zanahorias con agua clorada (100 mg/l de hipoclorito sódico) durante 2 minutos a 4°C mantuvo la calidad microbiológica y sensorial del producto durante nueve días de conservación a 4°C; sin embargo, cuando emplearon ozono (1,3 mg/l) como agente higienizante no fue tan eficaz. Ertuk y Picha (2006) lavaron batatas en agua clorada a distintas concentraciones de hipoclorito sódico (0, 100 ó 200 mg/l) durante 5 minutos a 1 ó 20°C, antes y después del troceado del tubérculo y, posteriormente, las almacenaron durante 14 días a 2 u 8°C. La higienización de las batatas una vez cortadas en rodajas con agua clorada, a una concentración de hipoclorito sódico de 200 mg/l, y a 1°C fue la más efectiva para reducir la flora microbiana durante el periodo de conservación. Oliveira *et al.* (2003) evaluaron en trozos de yuca de la variedad “IAC-576-70” distintos tiempos de lavado (5, 10 ó 15 minutos) con agua clorada a una concentración de 200 mg/l

y además ensayaron distintos tiempos (5, 10 ó 15 minutos) de contacto entre el tubérculo y el ácido cítrico (50 g/l). Observaron que el tubérculo lavado durante 15 minutos con agua clorada y 15 minutos con ácido cítrico fue el que menor carga microbiana presentó a los 28 días de conservación a 4°C [3,0 Log (ufc/g)], mientras que en el resto de tratamientos la carga fue el doble [6,0 Log (ufc/g)]. En relación a la calidad visual, los trozos que no fueron tratados (sin agua clorada y sin agente higienizante) mostraron a los 28 días de conservación un estriado vascular severo; sin embargo, los trozos de yuca que fueron lavados durante 15 minutos con agua clorada y en los que se redujo el tiempo de contacto entre el tubérculo y el agente antioxidante a 5 minutos, mantuvieron la calidad visual del producto durante cuatro semanas. Por otro lado, Lund *et al.* (2005a) señalaron que la calidad microbiológica de yuca mínimamente procesada procedente de supermercados de la región de Pelotas (Brasil), envasada al vacío y conservada durante cuatro y ocho días entre 5 ó 7°C no era la óptima, ya que el recuento de microorganismos aerobios mesófilos, aerobios psicrófilos, hongos y levaduras, bacterias lácticas y coliformes totales fue elevado. Además, encontraron en diversas muestras la presencia de coliformes fecales que corroboró que el producto no era microbiológicamente seguro. Gómez-López *et al.* (2007) determinaron que el empleo de dióxido de cloro gaseoso en la desinfección de zanahorias mínimamente procesadas es una buena alternativa para prolongar la vida útil del producto, ya que no afecta a la actividad fisiológica ni a la calidad sensorial del tubérculo. Sy *et al.* (2005) también evaluaron la desinfección de rodajas de zanahorias usando distintas concentraciones de dióxido de cloro gaseoso (0, 1,4, 2,7 y 4,1 mg/l) y observaron que al tratar las rodajas con 1,4 mg/l del gas higienizante hubo una reducción significativa de la población microbiana y se ralentizó la aparición del blanqueamiento superficial característico de dicho tubérculo. Además, Ruiz-Cruz *et al.* (2006) evaluaron distintas concentraciones de clorito de sodio acidificado (ASC) (100-500 mg/l) e hipoclorito sódico en el agua

de lavado de rodajas de zanahorias. Los tubérculos lavados con clorito de sodio acidificado (100 mg/l) fueron los que mejor aspecto general y menor carga de bacterias aerobias y hongos y levaduras presentaron durante los 21 días de conservación. Lo mismo ocurrió cuando Ruiz-Cruz *et al.* (2007a) evaluaron distintos agentes higienizantes (hipoclorito sódico, ácido peroxiacético y ASC) y mostraron que las tiras de zanahorias lavadas con ASC retuvieron mejor los niveles de azúcares, carotenos y la capacidad antioxidante del tubérculo; además dicho agente higienizante provocó una disminución de la actividad de las enzimas fenilalanina amonio liasa y polifenoloxidasas.

Recientemente se ha cuestionado el efecto del cloro sobre la salud humana y, por ello, se han evaluado tratamientos alternativos para la higienización en la industria del procesado mínimo de productos hortofrutícolas. Entre los posibles sustitutos del cloro se encuentran el peróxido de hidrógeno, el ácido peroxiacético y el ozono. El peróxido de hidrógeno tiene propiedades como agente blanqueador, oxidante y antimicrobiano y su uso es seguro en productos alimentarios. También se ha demostrado que el vapor de peróxido de hidrógeno es eficaz para esterilizar en el envasado aséptico (Sapers y Simmons, 1998). Ruiz-Cruz *et al.* (2007b) evaluaron el lavado de tiras de zanahorias con distintos agentes higienizantes: hipoclorito sódico (200 mg/l), ácido peroxiacético (40 mg/l) y ASC (100, 200 ó 500 mg/l). El lavado con ácido peroxiacético redujo la carga microbiana, aunque fue el tratamiento menos efectivo en dicha reducción. Además, la capacidad antimicrobiana del hipoclorito sódico se vio mermada durante el proceso de lavado, sin embargo en los tratamientos con ácido peroxiacético y ASC dicha merma no se produjo. Por otro lado, Vandekinderen *et al.* (2008) concluyeron que el lavado de zanahoria rallada con ácido peroxiacético (80 mg/l) redujo un 75% la tasa respiratoria inicial del producto. A concentraciones más elevadas de dicho agente higienizante (250 mg/l) el tubérculo tuvo una respiración muy baja. El ozono tiene una capacidad desinfectante superior a la del cloro en agua pura

(Korich *et al.*, 1990). Sin embargo, en el caso de la zanahoria, el tratamiento con ozono no se ha mostrado tan eficaz como el lavado con agua clorada (Klaiber *et al.*, 2004). Selma *et al.* (2008) evaluaron la eficacia del ozono y la luz ultravioleta UV-C y la combinación de las mismas en zanahoria mínimamente procesada y concluyeron que la combinación de ambos tratamientos es una buena alternativa a otros agentes higienizantes. Beltrán *et al.* (2005) evaluaron la efectividad de distintos agentes higienizantes (hipoclorito sódico, sulfito sódico, Tsunami, ozono y la combinación ozono-Tsunami) en la calidad sensorial y microbiológica de tiras de papas envasadas al vacío o en atmósfera modificada. El uso del ozono en el lavado del tubérculo no fue efectivo en el control del crecimiento microbiano, sin embargo la combinación del ozono-Tsunami y el envasado al vacío mantuvo la calidad sensorial y microbiológica del producto durante 14 días.

Asimismo, se está estudiando la aplicación del argón y óxido nitroso, para inhibir el crecimiento microbiano, la actividad enzimática y alguna reacción química indeseable (Spencer, 1999).

Los recubrimientos comestibles pueden actuar de barrera frente al ataque de microorganismos en los tubérculos mínimamente procesados. Además, a los recubrimientos se pueden incorporar agentes antimicrobianos y retardar así el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras. Simões *et al.* (2009) evaluaron, en tiras de zanahorias, una combinación de quitosano (5 ml/l) y envasado en atmósfera modificada durante doce días de conservación a 4°C; observaron que el uso de quitosano mantuvo la calidad visual de las tiras, ralentizó la aparición del blanqueamiento superficial y, además, inhibió el crecimiento microbiano. Lafortune *et al.* (2005) evaluaron en minizanahorias la combinación de un recubrimiento comestible a base de caseinato sódico y suero proteico, envasado en atmósfera modificada (60% de oxígeno y 30% de dióxido de carbono) o en aire y la irradiación con rayos gamma (1 kGy) durante 21 días a 4°C. Dichos autores determinaron que el recubrimiento empleado en este estudio no inhibió

significativamente el crecimiento microbiano, aunque mantuvo la firmeza de los tubérculos durante el periodo de conservación. Amanatidou *et al.* (2000) observaron que la combinación de un recubrimiento comestible a base de alginato y cloruro cálcico (2%) con ácido cítrico (0,1 ó 0,5%) y el envasado en altas concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono redujo significativamente la carga microbiana inicial de las rodajas de zanahoria. Mientras que en las rodajas que no fueron tratadas con el recubrimiento la carga inicial de microorganismos aerobios mesófilos fue de 6,4 Log (ufc/g), en las que se les aplicó el recubrimiento fue de 4,5 Log (ufc/g). Durango *et al.* (2006) evaluaron, en rodajas de zanahorias, el efecto antimicrobiano de un recubrimiento compuesto por: almidón de ñame (4%), glicerol (2%) y la adición o no de quitosano (0,5 ó 1,5%) durante 15 días a 10°C. Observaron que la adición de quitosano al recubrimiento controló el crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos, aerobios psicrófilos y hongos y levaduras, siendo la reducción mayor en las rodajas de zanahorias a las que se les aplicó una concentración de quitosano del 1,5%, presentando dichas rodajas una reducción de la carga de 1,34, 2,50 y 1,30 Log (ufc/g), respectivamente, respecto al control (sin recubrimiento). La presencia de quitosano al 1,5% en el recubrimiento inhibió el crecimiento de coliformes totales y bacterias ácido lácticas durante el periodo de conservación.

Otro sistema para la higienización de los productos mínimamente procesados es el uso de agua ácida electrolizada (AEW) y agua neutra electrolizada (NEW). Se ha demostrado que son eficaces en la reducción de recuentos microbianos y de patógenos vegetales (Bari *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2003; Abadías *et al.*, 2008). El mecanismo consiste en que el agua que contiene pequeñas cantidades de cloruro de sodio (0,05-1%) es electrolizada y genera una disolución de ácido hipocloroso con concentraciones de cloro libre muy baja. Una de las ventajas de este método es la inactivación de microorganismos con cantidades muy bajas de productos químicos. Izumi (1999) observó que el lavado

de zanahorias y papas mínimamente procesadas con agua electrolizada, con una concentración de cloro libre entre 15 y 50 mg/l, fue efectivo en la reducción de la carga microbiana sin causar modificaciones en el color de los tubérculos. Vandekinderen *et al.* (2008) evaluaron el efecto de distintos agentes higienizantes: el hipoclorito sódico, NEW y el ácido peroxiacético, en la tasa respiratoria de zanahoria rallada. Observaron que el lavado del tubérculo mínimamente procesado con hipoclorito sódico y con NEW no influyó de manera significativa en la tasa respiratoria; sin embargo, cuando la zanahoria rallada fue tratada con ácido peroxiacético se produjo una disminución significativa de dicha tasa. Por otro lado, Abadías *et al.* (2008) también evaluaron el efecto de distintos agentes higienizantes: el hipoclorito sódico, NEW y agua desionizada, en la carga microbiana de tiras de zanahorias, demostrando que el lavado del tubérculo con NEW es una buena alternativa higienizante al hipoclorito sódico.

Además, existen tratamientos físicos que se pueden utilizar para la higienización de los productos mínimamente procesados; entre ellos se encuentran los tratamientos térmicos suaves, la acidificación de la superficie del producto cortado con el fin de proteger algunos nutrientes (Dorantes-Álvarez y Chiralt, 2000; Hong *et al.*, 2000), las radiaciones ionizantes gamma y las radiaciones no ionizantes, como el tratamiento con radiofrecuencia o con luz ultravioleta UV-C. La aplicación de tratamientos térmicos con radiofrecuencia permitieron el almacenamiento de tiras de zanahorias mínimamente procesadas en bolsas durante un periodo de 14 días a 5-6°C (Orsat *et al.*, 2001). Las radiaciones ionizantes gamma reducen la carga microbiana de estos productos, tal y como demostraron en zanahorias mínimamente procesadas Chaudry *et al.* (2004), Kamat *et al.* (2005) y Caillet *et al.* (2006). Además, Hagenmaier y Baker (1998) evaluaron, en tiras de zanahoria no irradiadas, la combinación de bajas dosis de irradiación (0,5 kGy) con atmósferas modificadas y observaron que, al irradiar las tiras, la carga microbiana del producto disminuyó considerablemente.

La eliminación del exceso de agua de los productos mínimamente procesados, después del lavado y la aplicación de tratamientos, es importante para que no se acumule agua en los envases, lo que favorecería la proliferación de microorganismos y perjudicaría el aspecto del producto. La zanahoria normalmente se centrifuga para eliminar el exceso de agua. Posteriormente, se eliminan aquellos trozos de zanahorias cuyo aspecto, debido al centrifugado, no es el apropiado para el producto final. Moretti *et al.* (2007) evaluaron el efecto de distintos tiempos de centrifugado (0, 30, 60, 90 y 120 segundos) en la fisiología y calidad de minizanahorias. El centrifugado durante 120 segundos incrementó un 63% la temperatura de los tubérculos, la producción de etileno; además se produjo un incremento (un 49%) de la actividad respiratoria en aquellos tubérculos que fueron centrifugados durante 90 y 120 segundos. Por tanto, determinaron que 30 segundos fue el tiempo óptimo para mantener la calidad y evitar el desarrollo del blanqueamiento superficial de las minizanahorias. Sin embargo, en el escurrido de la papa no es recomendable eliminar toda el agua que la acompaña, ya que ésta puede ayudar a mantener la humedad relativa elevada en el interior del envase y por tanto minimizar la deshidratación (Gil y Tudela, 2003).

1.6.7. Envasado de los tubérculos

El envasado de los productos mínimamente procesados en atmósfera modificada (AM) se considera, después de la disminución de la temperatura del producto, la etapa más determinante para prolongar la vida comercial de los productos hortofrutícolas cortados (Schlimme y Rooney, 1994). Los envases deben contener y proteger al producto desde el momento y lugar en el que se realiza el procesado hasta el consumo. Además, los envases sirven como barrera de entrada de microorganismos y minimizan la pérdida de peso de los productos al mantener la humedad relativa de la atmósfera que los rodea (Barry-Ryan y O'Beirne, 1998). En el envasado en atmósferas modificadas pasivo, la atmósfera

depende de un equilibrio dinámico entre la atmósfera producida por el metabolismo del producto y la permeabilidad del *film* utilizado. Además, empleando bajas concentraciones de oxígeno y altas concentraciones de dióxido de carbono, en el envasado, se reduce la actividad respiratoria del tejido vegetal, la síntesis y acción del etileno y además se ralentiza el desarrollo del pardeamiento enzimático (Angós *et al.*, 2006; Simões *et al.*, 2008).

Existe una amplia diversidad de envases en la industria del procesado: bolsas y bandejas o barquetas recubiertas con una película de policloruro de vinilo (PVC) o con *films*, poliméricos sin perforar o microperforados. Las bolsas, son muy utilizadas en el envasado de hortalizas por su práctico uso, su bajo coste y además porque aportan al producto una sensación natural. Existe una amplia diversidad de materiales poliméricos que pueden utilizarse para el envasado de los productos cortados. Por tanto es fundamental la correcta elección de la permeabilidad de las bolsas y de las películas de sellado de los envases rígidos. Existen *films* permeables, *films* de barrera y *films* con permeabilidad adaptada. El envasado de rodajas de zanahoria con un *film* de polipropileno microperforado generó una atmósfera modificada, en el interior de los envases, útil para mantener la textura y el aroma de los tubérculos; sin embargo, no fue capaz de minimizar el blanqueamiento superficial (Cliffe-Byrnes y O'Beirne, 2007). Por otra parte, el uso de un *film* de polipropileno sin microperforar generó en los envases atmósferas anaeróbicas que tuvieron como consecuencia pobre calidad sensorial en los discos con ablandamiento de los tejidos, un exceso de humedad superficial, una pérdida de aromas y la producción de etanol. Barry-Ryan *et al.* (2000) evaluaron el uso de *films* con distinta permeabilidad al oxígeno (entre 1.200 y 200.000 ml/m²*día*atm) y al dióxido de carbono (entre 3.000 y 204.000 ml/m²*día*atm) y señalaron que el *film* de permeabilidad 29.000 ml/m²*día*atm a ambos gases era el más adecuado para el almacenamiento de la zanahoria rallada. Dichos autores indicaron que el deterioro sufrido durante la conservación

de estos productos se encontraba más relacionado con la disminución de oxígeno en los envases que con el incremento de dióxido de carbono. En el caso de la batata cortada en rodajas, se estudió el envasado con tres tipos de *films* de baja, media y alta permeabilidad al oxígeno (entre 3.000 y 16.500 ml/m²*día*atm) y al dióxido de carbono (entre 9.800 y 36.000 ml/m²*día*atm) y distinta transmisión de vapor de agua (entre 10 y 78 g/m²*día*atm) (Erturk y Picha, 2007; Erturk y Picha, 2008). La pérdida de peso fue mayor en la batata mínimamente procesada envasada con el *film* más permeable debido a su elevada transmisión de vapor de agua, por lo que la utilización de este *film* requiere que el envasado vaya acompañado de una elevada humedad relativa (> 95%) durante el almacenamiento. Sin embargo el material de envasado no afectó a la composición nutricional de los tubérculos (Erturk y Picha, 2007). Por otro lado, hay que señalar que la batata conservada con el *film* de baja permeabilidad sufrió anaerobiosis con acumulación de olores extraños en los envases (Erturk y Picha, 2008). Sólo los envases de alta permeabilidad fueron capaces de mantener la atmósfera aeróbica durante 14 días de almacenamiento a 2 y a 8°C. Silva *et al.* (2003) envasaron troncos de yuca de 8 cm de grosor en bolsas multicapa de poliolefina con permeabilidad al oxígeno de 21.000 ml/m²*día*atm, al dióxido de carbono de 12.000 ml/m²*día*atm y al vapor de agua de 0,65 g/m²*día*atm, con y sin vacío, o en barquetas de polipropileno selladas con un *film* de policloruro de vinilo con permeabilidad al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua de 5.680, 80.520 ml/m²*día*atm y 300 g/m²*día*atm, respectivamente. Las raíces envasadas en las bolsas de poliolefina y almacenadas a 10°C presentaron las mejores características de calidad: apariencia visual y desarrollo de microorganismos. Por otro lado, Araújo *et al.* (2007) describieron como los cubos o los troncos de yuca envasados en bandejas de poliestireno expandido envueltas con un *film* de policloruro de vinilo de 14 micras sufrieron mayor pérdida de peso que los envasados en recipientes de tereftalato de polietileno. Alves *et al.* (2005) determinaron que a

5°C los trozos de yuca de 15 cm de grosor envasados en bandejas selladas con un *film* de policloruro de vinilo tuvieron una vida útil de siete días, mientras que las raíces que fueron envasadas, con o sin vacío, en bolsas multicapa de polietileno mantuvieron la calidad hasta 24 días.

Una estrategia novedosa aplicable al envasado de los tubérculos mínimamente procesados es la utilización de envases activos en los que se han incorporado al *film* de envasado aditivos antioxidantes o conservantes. Endo *et al.* (2008) utilizaron *films* de celulosa a los que se les añadió ácido cítrico al 2%, L-cisteína al 0,5% o ácido sórbico al 7% o la mezcla de todos los aditivos, para el envasado de la papa de la variedad “Monalisa”. El uso de los *films* intercalados entre las rodajas de papa no tuvo efecto significativo sobre la calidad microbiológica o el pH de los tubérculos. Sin embargo, sí se produjo una disminución del desarrollo del pardeamiento enzimático con respecto a las rodajas que se envasaron con el *film* de celulosa pero sin la incorporación de los aditivos. Junqueira *et al.* (2009) evaluaron *films* de celulosa a los que se les añadió una mezcla de ácido ascórbico y ácido cítrico o metabisulfito de sodio. Observaron que el *film* impregnado con ácido ascórbico y ácido cítrico mantuvo el color de las papas mínimamente procesadas durante 30 días de conservación a 5°C; sin embargo, los tubérculos envasados con el *film* impregnado con metabisulfito sódico presentaron un oscurecimiento severo.

En relación a la modificación de la atmósfera a utilizar dentro de los envases se han realizado distintos estudios en tubérculos. Gorny (2001) recomienda para la zanahoria rallada, en bastones o en rodajas, una atmósfera para el envasado con una concentración de oxígeno del 2-5% y de dióxido de carbono del 15-20%. Izumi *et al.* (1996) determinaron que empleando concentraciones de 0,5% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono en la atmósfera del envase utilizado para el envasado de zanahorias en rodajas, bastones o tiras se produjo una reducción de la tasa respiratoria del producto, una disminución de la decoloración en las tiras y

una disminución del crecimiento de microorganismos en los bastones durante el almacenamiento. Kato-Nouguchi y Watada (1997) estudiaron la regulación del metabolismo etanólico de fermentación, envasando tiras de zanahorias en distintas atmósferas con bajas concentraciones de oxígeno (0,5 ó 2%) con aire y conservándolas durante siete días a distintas temperaturas de conservación (5 ó 15°C). Observaron que en las tiras de zanahoria envasadas en una atmósfera con baja concentración de oxígeno se produjo un incremento mucho mayor de las concentraciones de etanol y acetaldehído que en aquellas que fueron envasadas en aire y además un aumento de la actividad de las enzimas implicadas en dicho metabolismo de fermentación. Simões *et al.* (2009) evaluaron en tiras de zanahorias, a las que se les aplicó o no un recubrimiento comestible a base de quitosano, el efecto del envasado con bolsas de polipropileno orientado de distintas permeabilidades al oxígeno ($8,2 \cdot 10^{-16}$ ml/m²*día*atm ó $3,5 \cdot 10^{-16}$ ml/m²*día*atm) y de dos atmósferas modificadas (10% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono o 2% de oxígeno y 15-20% de dióxido de carbono). En las tiras a las que se les aplicó el recubrimiento, envasadas en las bolsas menos permeables y en una atmósfera con baja concentración de oxígeno y alta concentración de dióxido de carbono, se produjo un incremento de la tasa respiratoria aunque el contenido de fenoles se mantuvo constante durante los doce días de conservación a 4°C. Por tanto, dichos autores concluyeron que una atmósfera en la que la concentración de oxígeno es moderada (10% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono) mantiene mejor la calidad sensorial y además mejora el contenido fenólico de las tiras de zanahorias. Según Gorny (2001), las recomendaciones de atmósfera modificada para el envasado de papas enteras peladas o en rodajas son 1-3% oxígeno y 6-9% dióxido de carbono. En jícama (*Pachyrhizus erosus* L.) mínimamente procesada, Aquino-Bolaños *et al.* (2000) evaluaron distintas temperaturas de conservación (0, 5 y 10°C) y distintas atmósferas modificadas (1, 3 ó 21% de oxígeno o en combinación con un 5 ó 10%

de dióxido de carbono). A 5 y 10°C las rodajas de jícama envasadas en aire se pardearon, posiblemente por el incremento de la actividad de las enzimas fenilalaninaamonioliasa y la polifenoloxidasas. Sin embargo, cuando fueron conservadas a 5°C y envasadas con altas concentraciones de dióxido de carbono se produjo un retardo del crecimiento microbiano y del pardeamiento de la superficie del tubérculo.

Las propuestas más innovadoras para el envasado en atmósfera modificada van dirigidas al envasado con concentraciones altas de oxígeno, que han demostrado que producen un efecto beneficioso en la inhibición del pardeamiento enzimático y en el control del crecimiento de microorganismos aerobios y anaerobios en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Day, 2001). Amanatidou *et al.* (2000) propusieron una atmósfera con un 50% de oxígeno y un 30% de dióxido de carbono para la conservación de rodajas de zanahorias. Por otro lado, Alasalvar *et al.* (2005) observaron que se mantuvo la calidad de tiras de zanahorias púrpura durante 13 días a 5°C cuando envasaron con un 90% de oxígeno, disminuyendo el pardeamiento del tubérculo y evitando la aparición de olores extraños; sin embargo, cuando fueron envasadas en aire y con un 95% de oxígeno, el producto manifestó un deterioro de la calidad. Además, dichos autores evaluaron las mismas condiciones atmosféricas en tiras de zanahoria de color naranja y no observaron diferencias entre las atmósferas evaluadas manteniéndose el producto con buena calidad durante 13 días. Angós *et al.* (2008) evaluaron diversas atmósferas con el fin de controlar la tasa respiratoria y la aparición del pardeamiento enzimático de papas de la variedad “Monalisa” durante 14 días de conservación a 4°C. Estos autores observaron que, comparado con los tubérculos envasados en aire, las rodajas de papa envasadas con un 80% de oxígeno y entre un 10-20% de dióxido de carbono presentaron muy buena calidad, disminuyendo el desarrollo del pardeamiento y del ablandamiento.

Una técnica que también ha proporcionado buenos resultados en algunos

tubérculos es el envasado al vacío. Éste inhibe el pardeamiento enzimático aunque presenta un riesgo para la salud humana debido a que al eliminar el oxígeno del interior del envase puede favorecerse el crecimiento de la bacteria *Clostridium botulinum* (Gil y Tudela, 2003). Rocha *et al.* (2007) evaluaron el envasado al vacío o en aire de zanahoria rallada (variedad “Nantes”) durante diez días a 2°C y observaron que las zanahorias envasadas al vacío presentaron menor pérdida de peso, menor deshidratación superficial, menor pérdida de compuestos carotenoides, menor pérdida de los atributos sensoriales y además, ralentizó el crecimiento de microorganismos. Dichos autores concluyeron que la vida útil de las zanahorias ralladas, envasadas al vacío y conservadas a 2°C es de ocho días. Tudela *et al.* (2003) evaluaron el envasado de tiras de papas de la variedad “Manon” en distintas atmósferas: aire, 20% de dióxido de carbono, 100% de nitrógeno y vacío, durante seis días a 4°C. Observaron que durante el periodo de conservación, las papas envasadas en aire retuvieron el 100% de la vitamina C, mientras que en el resto de atmósferas evaluadas la retención fue menor: en las envasadas al vacío fue del 89%, en las envasadas en nitrógeno un 78% y en las envasadas en un 20% de dióxido de carbono fue de un 63%. Además, observaron que las papas envasadas al vacío no presentaron pardeamiento enzimático durante los seis días de conservación. Beltrán *et al.* (2005) también evaluaron el envasado al vacío y bajo atmósferas modificadas de la papa mínimamente procesada y encontraron que, en general, el envasado al vacío inhibió mejor el pardeamiento que el envasado bajo atmósfera modificada.

Además, la temperatura de conservación ejerce un efecto importante sobre la modificación de la atmósfera, porque un cambio de temperatura hace que se genere un equilibrio diferente en la atmósfera de envasado debido a que la difusión de los gases es dependiente de este factor. Además, la adecuada combinación de la atmósfera en el interior del envase y la temperatura puede producir una disminución en la pérdida de vitamina C en papa (Gil *et al.*, 1999).

1.6.8. Comercialización del tubérculo mínimamente procesado

El manejo de los productos mínimamente procesados durante su almacenamiento, transporte, distribución y venta ha de ser lo más cuidadoso posible (IFPA, 1996; Thomson y Suslow, 1996). Dicha comercialización ha de realizarse en todos los casos a baja temperatura (Paull y Chen, 1997). Es esencial el mantenimiento de la cadena de frío una vez elaborados estos productos, para garantizar la máxima vida comercial, mantener la calidad y prevenir el crecimiento de microorganismos. La temperatura de transporte de estos productos ha de estar por encima de su punto de congelación y oscila en general entre 0 y 1°C, siendo posteriormente almacenados entre 1 y 4°C en los expositores de venta al detalle, en los frigoríficos domésticos, etc. hasta el momento de ser consumidos (IFPA, 1996). Una temperatura no optimizada puede provocar la rápida senescencia del producto y cambios en la atmósfera en el interior del envase, provocando la aparición de sabores y olores desagradables y el crecimiento de microorganismos de deterioro, así como patógenos para el hombre (Kato-Nouguchi y Watada, 1997; Lavelli *et al.* 2006). Lavelli *et al.* (2006) observaron que las zanahorias cortadas en juliana y conservadas a 10°C, alcanzaron el máximo recuento total de bacterias permitido por la legislación francesa ($5 \cdot 10^8$ ufc/g), entre el tercer y cuarto día de conservación; sin embargo, en las conservadas 5°C dicho umbral se alcanzó al sexto y séptimo día de conservación. Por otro lado, Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007) observaron que al conservar discos de zanahoria a 4°C durante seis días, aplicando un recubrimiento comestible (Nature Seal®) y envasándolos en un *film* poco permeable, se ralentizó la aparición de blanqueamiento superficial y se mantuvo mejor la calidad sensorial del producto, que en las zanahorias conservadas a 8°C. Pineli *et al.* (2005b) realizaron una caracterización química y física de dos variedades de papas procesadas mínimamente y conservadas a dos temperaturas: 5 y 15°C. Observaron que las dos variedades conservadas a 5°C presentaron mejor calidad

que las que habían sido conservadas a 15°C. Del Águila *et al.* (2006) encontraron que la temperatura adecuada para mantener la calidad del rábano (*Raphanus sativus* L.) mínimamente procesado, de la variedad “Crimson Gigante”, durante la conservación estuvo entre 1 y 5°C. Vitti *et al.* (2005) observaron que cuando se conservaba la beterrada mínimamente procesada a 15°C presentó una tasa respiratoria dos veces mayor a la de la conservada a 5°C, siendo su vida útil de cuatro días respecto a las conservadas a 5°C que fue de seis días. Silva *et al.* (2003) determinaron que la yuca mínimamente procesada envasada con y sin vacío en bolsas de poliolefina multicapa y conservadas a 10°C, presentaron menor estriado vascular y menor recuento de microorganismos, que cuando fue conservada a 25°C. A 25°C y a las mismas condiciones de envasado descritas con anterioridad, los tubérculos fueron descartados al sexto día de conservación, debido a la alta incidencia de estriado vascular y a la elevada carga microbiana, mientras que en los conservados a 10°C la vida útil se prolongó hasta los doce días de conservación. Lund *et al.* (2000) también observaron la influencia de la temperatura de conservación en el deterioro de la yuca mínimamente procesada, al comprobar que los troncos de yuca envasados al vacío en bolsas de poliepropileno, durante doce días a 5°C, presentaron menor oscurecimiento que los conservados a temperatura ambiente. Además, los troncos conservados a 25°C respiraron más que los conservados a 5°C.

A continuación se resumen en una tabla los distintos tratamientos aplicados para mantener la vida útil de la yuca mínimamente procesada (Tabla 5):

Tabla 5. Tratamientos aplicados para aumentar la vida útil de la yuca mínimamente procesada.

Variedad de yuca	Tratamientos	Tratamiento óptimo	Referencias
“Baianinha”	-Escaldado trozos yuca (30 segundos o 30 minutos) -Lavado yuca sin escaldado	Escaldado yuca (30 segundos)	Bezerra <i>et al.</i> (2002a)
“IAC 576-70”	-Tiempos de higienización (0, 5, 10 y 15 minutos) -Tiempos de adición de ácido cítrico (0, 5, 10 y 15 minutos)	Higienización 15 minutos Ácido cítrico 5 minutos	Oliveira <i>et al.</i> (2003)
“Cacau”	-Envasado { -PLM sin vacío -PLM con vacío -Bandejas PP + <i>film</i> PVC -Temperatura de conservación (25 ó 10°C)	PLM con y sin vacío, 10°C	Silva <i>et al.</i> (2003)
.....	-Envasado { -Bandejas + <i>film</i> PVC -Bolsas poliéster, aire -Bolsas poliéster al vacío	Envasado en bolsas al vacío	Alves <i>et al.</i> (2005)
.....	-Lavado { -Agua destilada -SUMAVEG® { 100 mg/l 10 minutos { 200 mg/l -Hipoclorito sódico { -100mg/l 15 minutos { -200mg/l -100mg/l, pH 6 -200mg/l, pH 6 -Ácido cítrico (100 ó 200 mg/l) -Sin lavar	Hipoclorito sódico 100 ó 200 mg/l, pH 6, 15 minutos, ácido cítrico	Lund <i>et al.</i> (2005a)
Yuca de pulpa blanca (comercializada en supermercados)	-Evaluación de la calidad microbiológica	Mejorar el lavado de la yuca (alta contaminación microbiana)	Lund <i>et al.</i> (2007)
.....	-Envasado { -Bandejas + <i>film</i> PVC -Bolsas PLM, vacío -PET	Envasado en bolsas PLM y PET	Aráujo <i>et al.</i> (2007)

PLM, poliolefina multicapa; PP, polipropileno; PVC, policloruro de vinilo; PET, tereftalato de polietileno; SUMAVEG®, disolución de dicloro-s-triazinatrina sódica dihidratada.

2. OBJETIVOS

Los objetivos más importantes de esta Tesis Doctoral son:

1. Desarrollar la tecnología necesaria para el procesado de la yuca. Para ello, se seleccionará la materia prima que mejor aptitud tenga al procesado mínimo así como la temperatura y el tiempo de conservación de la yuca entera antes del procesado. También se estudiarán distintas operaciones típicas del procesado como el lavado del producto entero, el pelado y el tipo de presentación, así como algunos tratamientos (aplicación de recubrimientos comestibles) que eviten o minimicen las alteraciones de la calidad final del producto.

2. Establecer las condiciones idóneas de conservación (*film*, atmósfera en el interior del envase, temperatura) de manera que se alargue la vida útil del producto y se mantengan las características organolépticas y sanitarias lo más parecidas posibles a las del producto fresco.

3. Establecer las condiciones bajo las que ha de ser procesada la yuca con el objeto de que el contenido en glucósidos cianogénicos sea seguro para el consumidor.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material vegetal

El material vegetal utilizado en todos los ensayos de esta Tesis Doctoral fue: yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Se empleó la variedad de yuca denominada comúnmente como “yuca marrón” cuya denominación científica no ha podido ser determinada. Las varas de yuca fueron importadas hace 50 años desde Venezuela. Todo el material vegetal fue producido en la isla de El Hierro (Islas Canarias, España) en una finca de 10.000 m² propiedad de D. Pedro Cabrera. Dicha finca dedica 5.000 m² al cultivo ecológico de yuca y está situada a unos 300 m de altitud en la zona denominada “Agua nueva” en el municipio de Frontera (Foto 4). Para mantener la fertilidad del suelo el agricultor incorpora compost u otros elementos y realiza técnicas como la rotación de cultivos, siembra de leguminosas o la cobertura del suelo con paja o hierba cortada.



Foto 4. Cultivo de yuca en Frontera (El Hierro, Islas Canarias).

Los tubérculos utilizados en esta Tesis Doctoral presentaron un peso, longitud y perímetro de 474 ± 240 g, 24 ± 5 cm y 19 ± 4 cm, respectivamente. Por otro lado, en cada uno de los ensayos se utilizó un mínimo de 10-15 kg de yuca por

tratamiento evaluado (peso aproximado de 50 kg por ensayo; lo que supone entre 20 y 30 tubérculos por tratamiento) con los que, una vez procesada la yuca, se obtuvieron un mínimo de 40-45 barquetas por tratamiento. En el caso de la evaluación de la temperatura y tiempo transcurridos entre la recolección y el procesado se utilizaron 35 kg de yuca por tratamiento debido a la alta incidencia de estriado vascular en la materia prima transportada en barco. En el ensayo preliminar para la evaluación de la aplicación de distintos recubrimientos comestibles sólo se emplearon 2,5 kg de yuca por tratamiento.

3.2. Procesado mínimo de yuca

El proceso general seguido en los diferentes ensayos realizados para la optimización de las distintas etapas para el procesado mínimo de yuca se resume a continuación.

La yuca una vez recolectada, fue transportada por avión a Tenerife (ver apartados 3.2.1.1 y 4.2.1). Una vez que la yuca llegó al laboratorio de Postcosecha y Tecnología de los Alimentos del Departamento de Fruticultura Tropical del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA) se almacenó en cámaras de conservación a 10°C para ser procesada 18 horas después de su llegada a las instalaciones del ICIA (ver apartados 3.2.2 y 4.3). Antes de procesar la yuca, se realizaron tres lavados: un primer lavado con cepillado y con un volumen de agua de 10 l/kg de yuca y dos lavados posteriores por inmersión durante 5 minutos en un volumen de agua de 2,5 l/kg de yuca (ver apartados 3.2.3 y 4.4). El agua se cloró a una concentración de 200 mg/l de hipoclorito sódico y se mantuvo a un pH entre 6,0 y 7,0 y una temperatura de 5°C. Todos los lavados se hicieron en bandejas de acero inoxidable. La eliminación de la piel y la corteza se realizó manualmente con cuchillo de filo liso en una cámara a 5°C. Una vez pelada la yuca se procedió al troceado en forma de troncos de aproximadamente 4 cm de grosor de forma manual con un cuchillo de filo liso. Los trozos de yuca se lavaron

a continuación en un baño de agua clorada a 5°C durante 2 minutos a una concentración de 100 mg/l de hipoclorito sódico, utilizando un volumen de 5 l/kg de producto y se escurrieron en bandejas de acero inoxidable. El envasado de los trozos de yuca (aproximadamente 150 g de yuca por barqueta) se hizo en barquetas de polipropileno transparente, de dimensiones 172*130*50 mm y un volumen de 600 ml suministradas por Tecnopak Plastics S.L. (Barcelona, España). El envasado se realizó con una envasadora Efabind Afaman (Murcia, España) bajo una atmósfera modificada activa con 10% de oxígeno y 0% de dióxido de carbono (ver apartado 3.2.6 y 4.7), utilizando un *film* P-Plus impermeable de polipropileno, (ver apartados 3.2.7 y 4.7) proporcionado por Amcor-Flexibles (Burgos, España). Los tubérculos mínimamente procesados fueron almacenados en una cámara de conservación a 5°C durante siete días y bajo oscuridad (ver apartados 3.2.8 y 4.8).

En la siguiente [Figura 4](#) se esquematizan las etapas optimizadas para elaborar yuca mínimamente procesada.

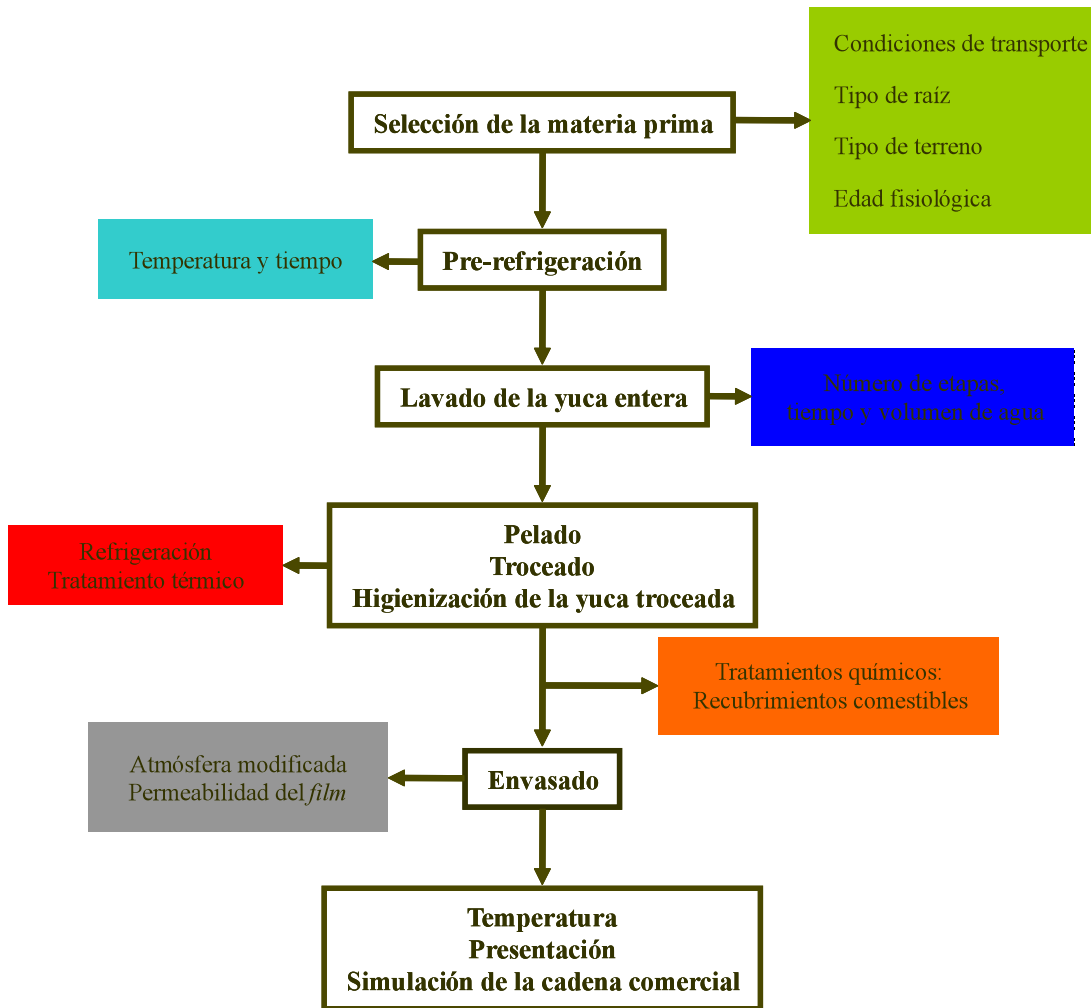


Figura 4. Diagrama de flujo para la elaboración de yuca mínimamente procesada.

A continuación se describen los distintos factores optimizados en las distintas etapas de la elaboración de yuca mínimamente procesada

3.2.1. Selección de la materia prima

3.2.1.1. Efecto de las condiciones de transporte hasta la planta de procesado sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada

Se evaluó la vía de transporte óptima (aérea y marítima) de la yuca entera desde la isla de El Hierro hasta la isla de Tenerife (Figura 5). Se registró la temperatura y la humedad relativa desde que la yuca fue recolectada, a primera

hora de la mañana, hasta que fue llevada al ICIA mediante unos registradores NOMAD Data Logger (Ω -Omega, Stamford, EE.UU.).

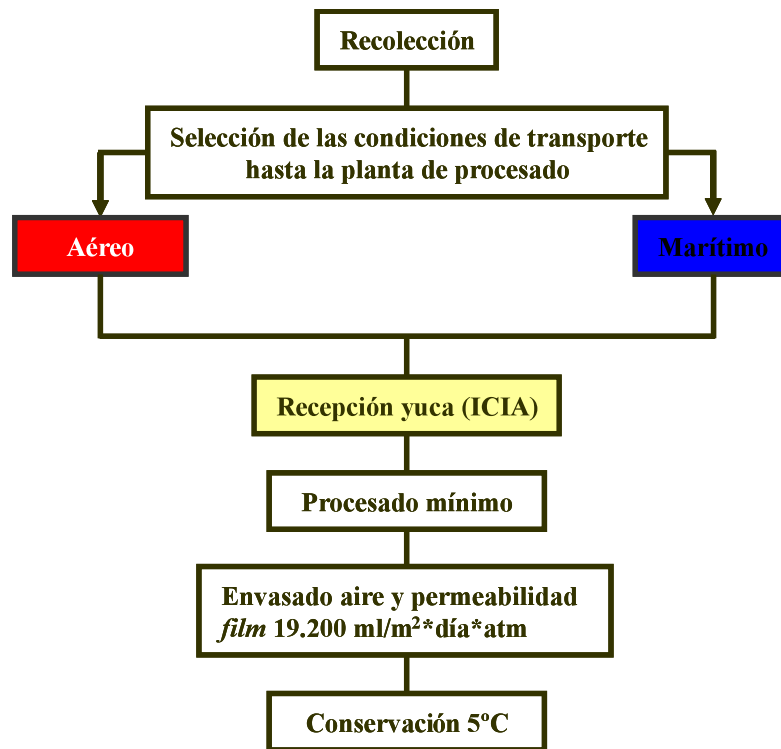


Figura 5. Optimización del medio de transporte de la yuca entera antes del procesamiento mínimo.

3.2.1.2. Efecto del tipo de raíz sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada

Dado que la planta de yuca da lugar a dos tipos de raíces (primarias y secundarias) durante su crecimiento se procesaron los dos tipos de raíces con el fin de establecer su aptitud al procesamiento mínimo (Figura 6).

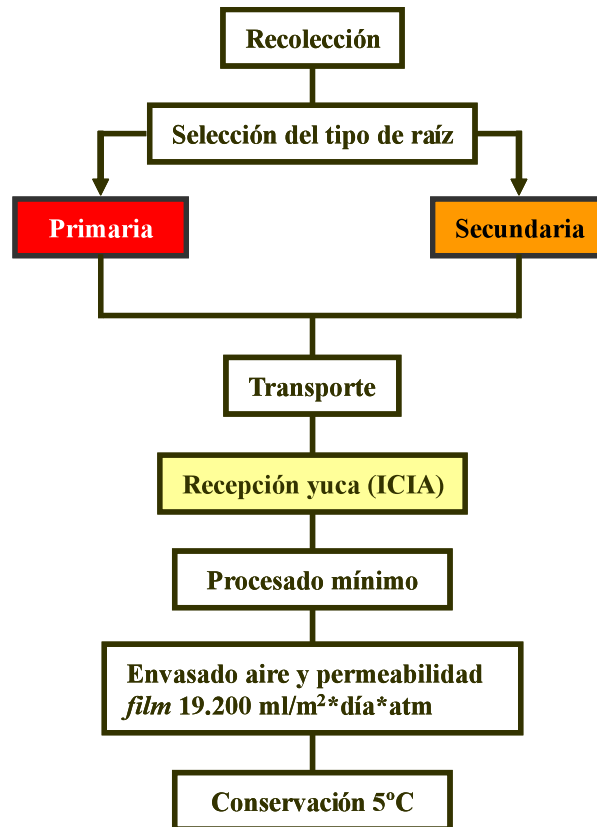


Figura 6. Selección del tipo de raíz de yuca entera antes del procesado mínimo.

3.2.1.3. Efecto del tipo de terreno sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada

El terreno en el que se cultivó la yuca utilizada en los ensayos presentaba zonas arcillosas y pedregosas por lo que se procesó yuca procedente de ambos tipos de suelos con el fin de establecer su aptitud al procesado (Figura 7).

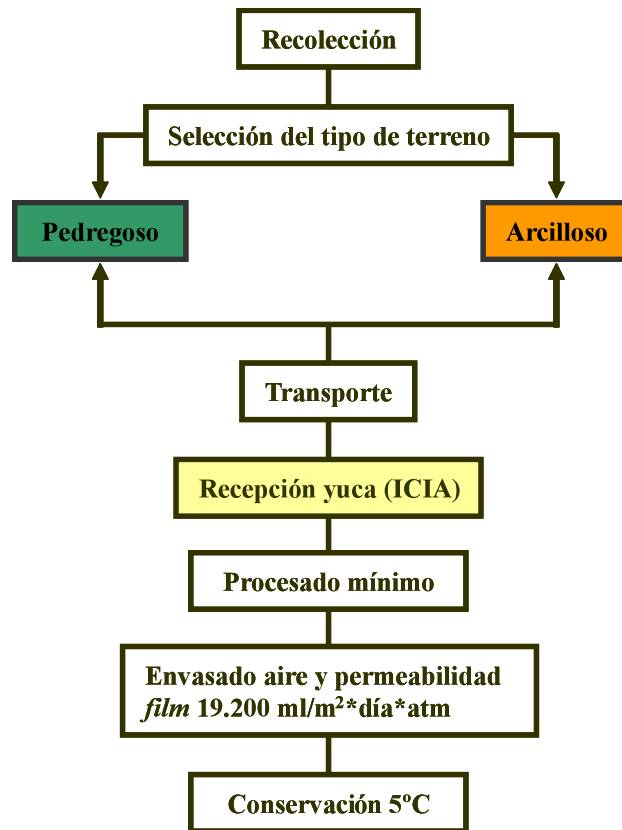


Figura 7. Selección del tipo de terreno en el que se cultivó la yuca.

3.2.1.4. Efecto de la edad fisiológica del cultivo sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada

Con el fin de determinar la influencia que puede tener la edad fisiológica de la yuca en la aptitud al procesado mínimo, se evaluaron dos edades de cultivo: 11 y 18 meses (Foto 5 y Figura 8). La recolección de los tubérculos se realizó el 15 de enero de 2007. Los tubérculos recolectados después de 11 meses procedían de varas plantadas el 20 de febrero de 2006 y los recolectados después de 18 meses provenían de varas plantadas el 15 de julio de 2005.



Foto 5. Raíces de yuca con una edad fisiológica de 11 meses (izquierda) y de 18 meses (derecha).

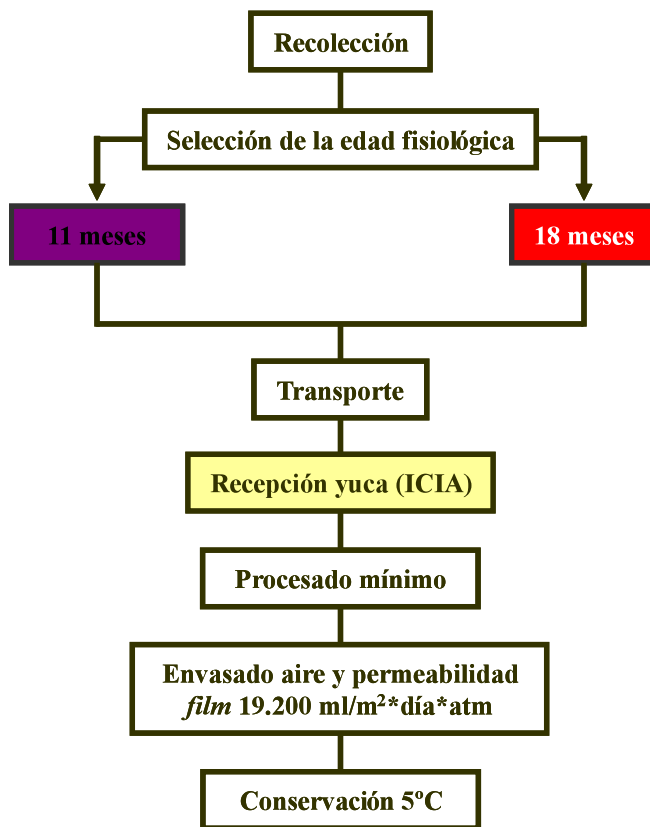


Figura 8. Selección de la edad fisiológica de la yuca destinada al procesado mínimo.

3.2.2. Optimización de la temperatura y tiempo de conservación de la yuca antes del procesado

La yuca una vez recolectada y trasladada a las instalaciones del ICIA se almacenó, hasta el momento del procesado, a tres temperaturas de conservación, 25, 10 ó 5°C, durante 18 horas o 66 horas (2 días + 18 horas) (Figura 9).

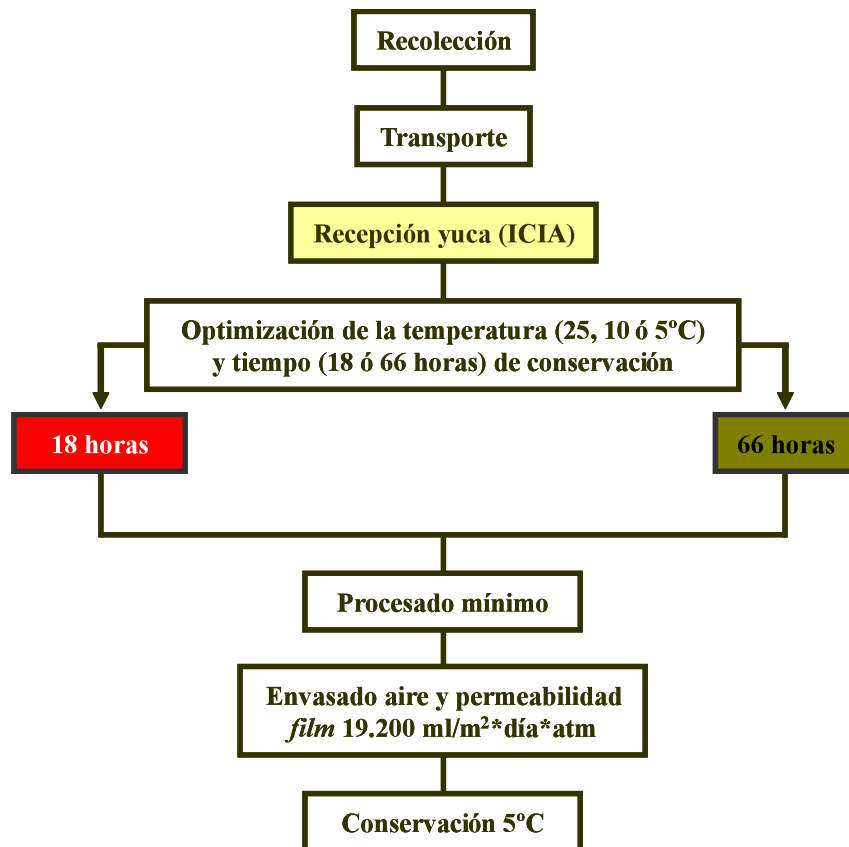


Figura 9. Optimización de la temperatura y tiempo de conservación de la yuca entera antes del procesado mínimo.

3.2.3. Optimización de la operación de lavado de la yuca entera

En el lavado de la yuca entera se evaluó el efecto del número de lavados, tiempo de lavado y volumen de agua sobre la calidad microbiológica del producto una vez procesado (Foto 6).



Foto 6. Lavado con cepillado (a) y lavado mediante inmersión de la yuca entera (b).

3.2.3.1. Optimización del número y tiempo de lavado

Inicialmente se evaluó la necesidad o no de realizar un primer lavado del tubérculo con cepillado en un recipiente con 10 l de agua por kg de producto con el fin de eliminar al máximo los restos de tierra y raicillas que pudieran quedar adheridos a la superficie del tubérculo. Posteriormente, se evaluó un segundo lavado de la yuca entera por inmersión durante distintos tiempos: 0, 1, 2, 5 ó 10 minutos. Además, se valoró la eficacia del lavado de la yuca entera cuando se realizan dos lavados consecutivos por inmersión además del lavado con cepillado, donde el segundo lavado se lleva a cabo mediante la inmersión del tubérculo empleando distintos tiempos (0, 2, 5, 10 ó 15 minutos) y un tercer lavado por inmersión de 5 minutos de duración. En el segundo y tercer lavado de esta etapa

de optimización del tiempo y número de lavados de la yuca se empleó un volumen de agua de 10 l/kg de producto.

3.2.3.2. Optimización del volumen de agua de lavado

Teniendo en cuenta que para el segundo y tercer lavado se emplearon 10 l de agua/kg de producto, se optimizó el volumen de agua necesario para dicho lavado. Para ello se utilizó un diseño experimental “Central composite desing 2ⁿ + star” centrado en las caras con dos puntos centrales, que se ejecutó en dos pasos. En el primer paso se optimizó el volumen de agua para el lavado con cepillado, el volumen de agua utilizado en el segundo lavado y el volumen de agua utilizado en el tercer lavado. En todos los casos los volúmenes de agua ensayados oscilaron entre 5,0 y 10 l de agua/kg de yuca. En el segundo paso se optimizó el volumen de agua del segundo y del tercer lavado entre 2,5 y 5,0 l de agua/kg de producto. En todos los casos se utilizó agua clorada a una concentración de 200 mg de hipoclorito sódico/l, con el pH ajustado entre 6,0-7,0, y a una temperatura de 5°C.

3.2.4. Optimización de la etapa de pelado de la yuca

3.2.4.1. Evaluación de la temperatura del tratamiento térmico

Se evaluó si la temperatura del tratamiento térmico (50, 40 ó 30°C) previo a la operación de pelado podía influir en la facilidad de pelado y en la calidad final de la yuca mínimamente procesada (Figura 11). Como control se introdujo la yuca en un baño de agua a 5°C que es la temperatura de lavado en el procesado mínimo de productos hortofrutícolas. Antes de aplicar estos tratamientos se realizó un lavado acompañado de cepillado y dos lavados por inmersión tal y como se ha descrito en el apartado 3.2.

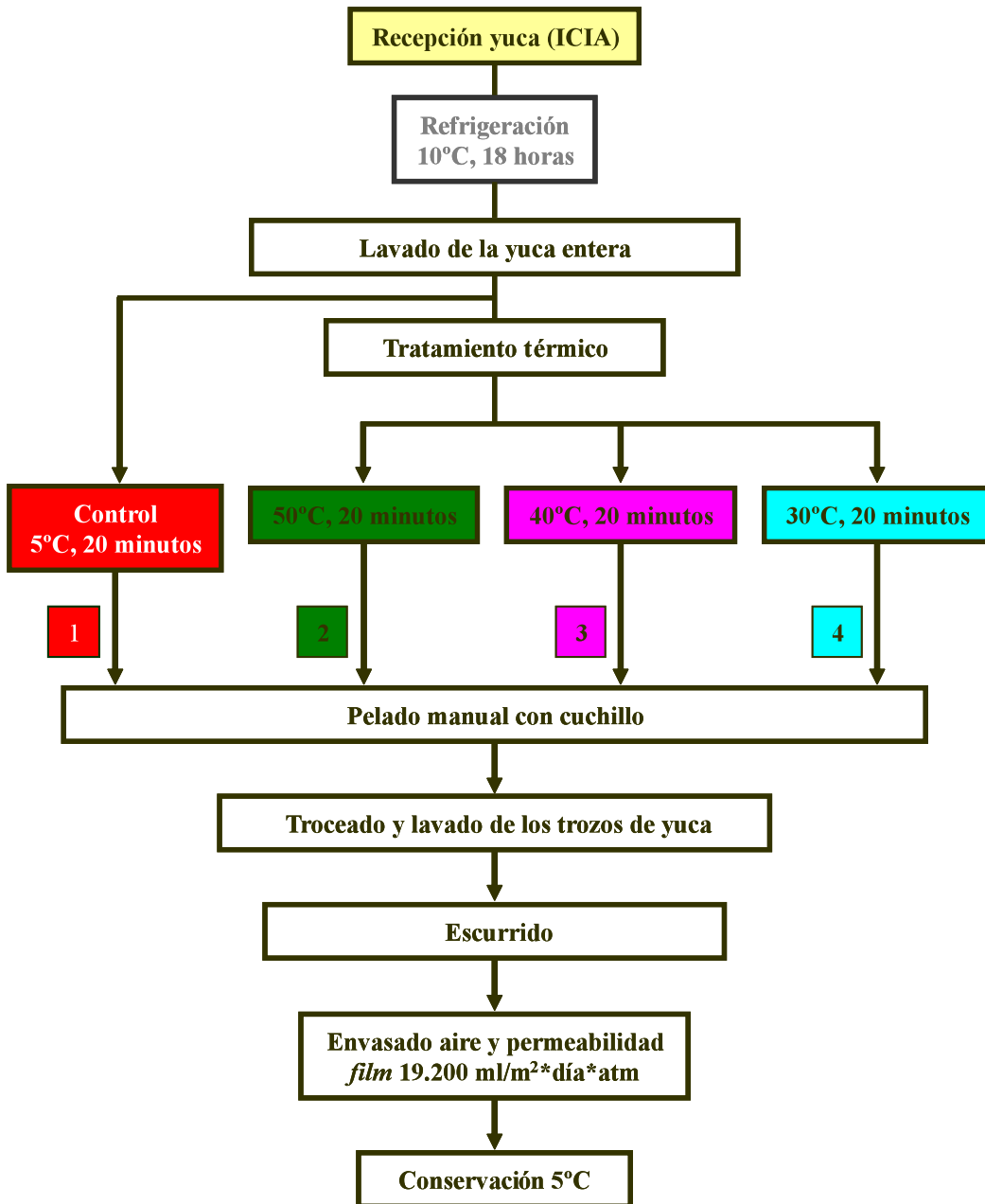


Figura 11. Optimización del efecto de la temperatura del tratamiento térmico sobre la operación de pelado de la yuca.

3.2.5. Evaluación de diferentes recubrimientos comestibles para preservar la calidad de la yuca mínimamente procesada

Se evaluaron diferentes recubrimientos comestibles a base de polisacáridos (quitosano al 0,1 ó 0,5% y carboximetilcelulosa al 2%), lípidos (carnauba a 2,5, 5,0 ó 7,5°Brix) y extractos de algas marinas (carragenano al 1%). El quitosano, preparado a las concentraciones de 0,1% y 0,5%, se solubilizó en una disolución de ácido acético y se ajustó el pH a 5,5 con hidróxido sódico (2 N) (Devlieghere *et al.*, 2004; Dong *et al.*, 2004).

El recubrimiento de carboximetilcelulosa se preparó siguiendo el protocolo descrito por Uquiche-Carrasco *et al.* (2002). Se diluyó la carboximetilcelulosa en agua (al 2%) y se añadió glicerol (0,5%) como plastificante. La mezcla se agitó durante 10 minutos a 2.000 rpm y, posteriormente, se calentó hasta alcanzar 70°C, momento en el que se añadió ácido esteárico (0,25%) como emulsificante. El recubrimiento se dejó en agitación hasta que el ácido esteárico se disolvió completamente.

La preparación de la micro-emulsión de cera de carnauba consistió en la mezcla de la cera (carnauba) y un ácido graso que actúa como emulsificante (ácido palmítico). La mezcla se fundió y se añadió una base (morfolina). La proporción de los componentes carnauba: ácido palmítico: morfolina fue de 5:1:1. Posteriormente se añadió agua a 90°C hasta alcanzar el contenido en sólidos solubles totales deseado (Hagenmaier y Baker, 1994; Baker y Hagenmaier, 1997). En este trabajo se ensayaron las concentraciones de 2,5, 5,0 y 7,5°Brix.

El recubrimiento de carragenano (1%) se hizo en agua a 80°C mediante agitación y durante 30 minutos. Posteriormente se añadió, como plastificante, una mezcla 1:1 (p:p) de glicerol y polietilenglicol. La proporción de plastificante carragenano fue de 1:4. El recubrimiento resultante se agitó y se dejó atemperar (Lee *et al.*, 2003).

Todos los compuestos utilizados para la preparación de los recubrimientos comestibles fueron suministrados por Sigma (Madrid, España), excepto el ácido acético (Panreac, Madrid, España), el hidróxido sódico (Merck, Darmstadt, Alemania) y el glicerol (Acofarma, Madrid, España).

Los recubrimientos comestibles fueron aplicados a 5°C, por inmersión durante 2 minutos, y después del lavado higienizante de la yuca troceada (100 mg/l de hipoclorito sódico, 2 minutos a 5°C). Como control se lavó la yuca en un baño de agua a 5°C y no se le aplicó recubrimiento comestible (Figura 12).

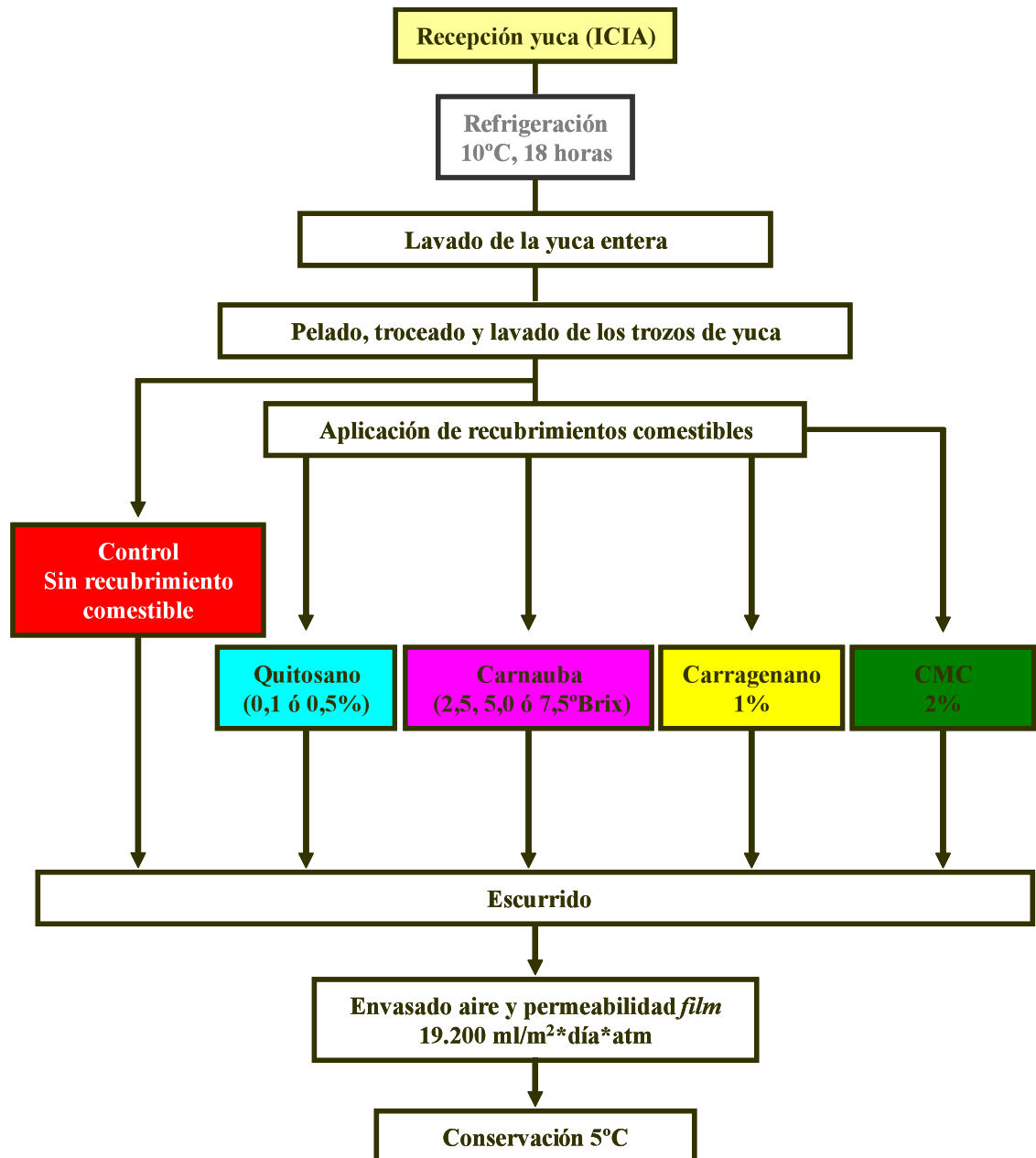


Figura 12. Evaluación del efecto de la aplicación de distintos recubrimientos comestibles a los trozos de yuca mínimamente procesada. CMC: carboximetilcelulosa.

3.2.6. Optimización del *film* para mantener la atmósfera en el interior del envase

Para mantener la atmósfera inicial óptima en el interior del envase, el máximo tiempo posible, se evaluaron *films*, proporcionados por Amcor-Flexibles, con distintas permeabilidades: *film* microperforado P-Plus 180 de 52 micras con una permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono de 19.200 ml/m²*día*atm, *film* P-Plus 90 de 52 micras de menor permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono (5.200 ml/m²*día*atm) y un *film* impermeable.

Además, se evaluaron distintas atmósferas en el interior del envase que se resumen en la [Tabla 6](#).

Tabla 6. Tipos de *films* y atmósferas modificadas evaluadas para la optimización de la atmósfera en el interior del envase de yuca mínimamente procesada.

Tipos de <i>films</i>	Atmósfera inicial en el interior del envase
<i>Film</i> de 52 micras, permeabilidad al O ₂ y CO ₂ de 19.200 ml/m ² *día*atm	Aire
<i>Film</i> de 52 micras, permeabilidad al O ₂ y CO ₂ de 5.200 ml/m ² *día*atm	15% O ₂ y 0% CO ₂ 5% O ₂ y 0% CO ₂
<i>Film</i> impermeable	Aire 15% O ₂ y 0% CO ₂ 5% O ₂ y 0% CO ₂

3.2.7. Optimización de la atmósfera en el interior del envase

Se ensayaron distintas concentraciones de oxígeno (20, 15, 10 ó 5%), en la atmósfera inicial del envase en ausencia de dióxido de carbono. Se utilizó un mezclador de gases (nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono) Witt-Gasetechnik KM 100-3 (Witten, Alemania) para obtener las distintas mezclas de gases. En este

ensayo las barquetas fueron selladas con un *film* impermeable, proporcionado por Amcor-flexibles, con el fin de mantener las condiciones de la atmósfera inicial el mayor tiempo posible. También se utilizó un control en el que se envasaron los trozos de yuca en una atmósfera inicial de aire en barquetas selladas con el *film* más permeable (P-Plus 180, permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono de $19.200 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$) (Figura 13).

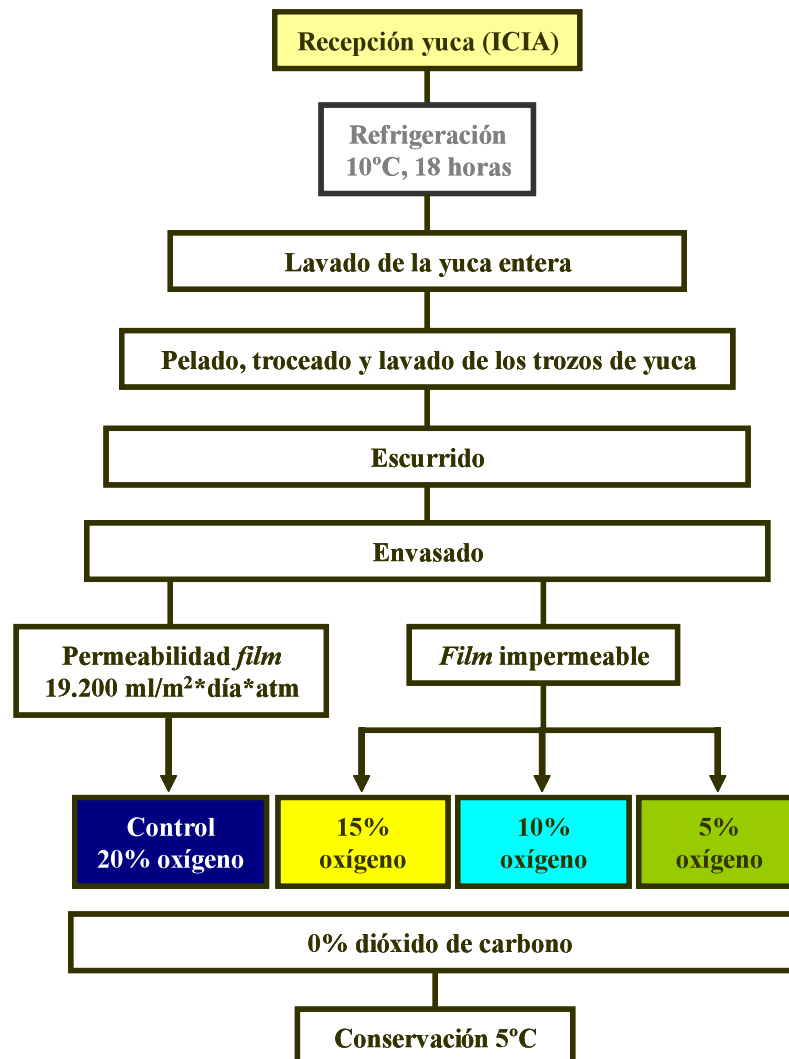


Figura 13. Evaluación del envasado de yuca mínimamente procesada en distintas concentraciones de oxígeno y en ausencia de dióxido de carbono.

3.2.8. Evaluación de diferentes temperaturas de conservación de la yuca procesada

Se evaluaron dos temperaturas para la conservación de la yuca mínimamente procesada: 10 ó 5°C.

Una vez seleccionada la temperatura óptima de conservación de la yuca mínimamente procesada, se comparó la calidad de la yuca cuando es procesada y conservada a 5°C en oscuridad, frente a la yuca que sigue la cadena comercial. Dicha cadena de comercialización se puede resumir en los siguientes puntos:

1. Transporte refrigerado desde la fábrica hasta los puntos de venta: temperatura constante de 5°C durante 18 horas.
2. Recepción del producto en el punto de venta: temperatura ambiente hasta un máximo de 20 minutos.
3. Colocación de la yuca mínimamente procesada en los lineales de venta: temperatura media de 7°C durante tiempo variable (1, 3, 6, u 8 días desde el día del procesado) con un régimen de luz de 12 horas (y 12 horas de oscuridad).
4. Adquisición del producto por el consumidor final y transporte al hogar: temperatura ambiente hasta un máximo de 60 minutos.

Teniendo en cuenta esta posible cadena comercial, el proceso llevado a cabo en este ensayo fue envasar la yuca una vez pelada y cortada y posteriormente almacenarla a 5°C durante 18 horas, tiempo que se consideró como el máximo que se mantiene el producto mínimamente procesado en la planta de procesado antes del transporte al punto de comercialización. A partir de ese momento la mitad de la yuca se mantuvo a 5°C y en oscuridad durante los ocho días de conservación. La otra mitad se mantuvo durante 20 minutos a temperatura ambiente (recepción del producto en el punto de venta) y luego se almacenó a 7°C (lineales de venta). La yuca se mantuvo a esta temperatura durante un tiempo variable (1, 3, 6, u 8

días) y con un régimen de luz de 12 horas (y 12 horas de oscuridad). En el momento de la evaluación de la calidad de la yuca las barquetas se dejaron 60 minutos a temperatura ambiente (adquisición del producto y transporte a casa).

También se realizó un estudio en el que se comparó el comportamiento de la yuca entera conservada en cámaras a 10°C (temperatura de conservación optimizada, ver apartados 3.2.2 y 4.3) frente a la yuca procesada y conservada a 5°C (temperatura de conservación de los productos mínimamente procesados), con el fin de comparar si la calidad del producto procesado es similar a la del producto entero durante el periodo de conservación.

3.2.9. Evaluación de diferentes presentaciones de yuca mínimamente procesada

Una vez establecido el diagrama de flujo para la obtención de yuca mínimamente procesada, se evaluó la aptitud al procesado mínimo y la aceptación por los consumidores de distintas presentaciones destinadas a dos tipos de cocinado: fritura o guisado.

Así, se evaluaron troncos, de aproximadamente 4 cm de grosor, para obtener yuca guisada y *chips* lisas, *chips* onduladas y yuca rallada con el fin de obtener yuca frita (Foto 7). Para la obtención de dichas presentaciones se utilizó una cortadora eléctrica marca La Minerva C/E TVS proporcionada por Importadora Tudelana (Navarra, España). Además, se optimizaron las condiciones (tiempo y temperatura) de cocción y fritura.

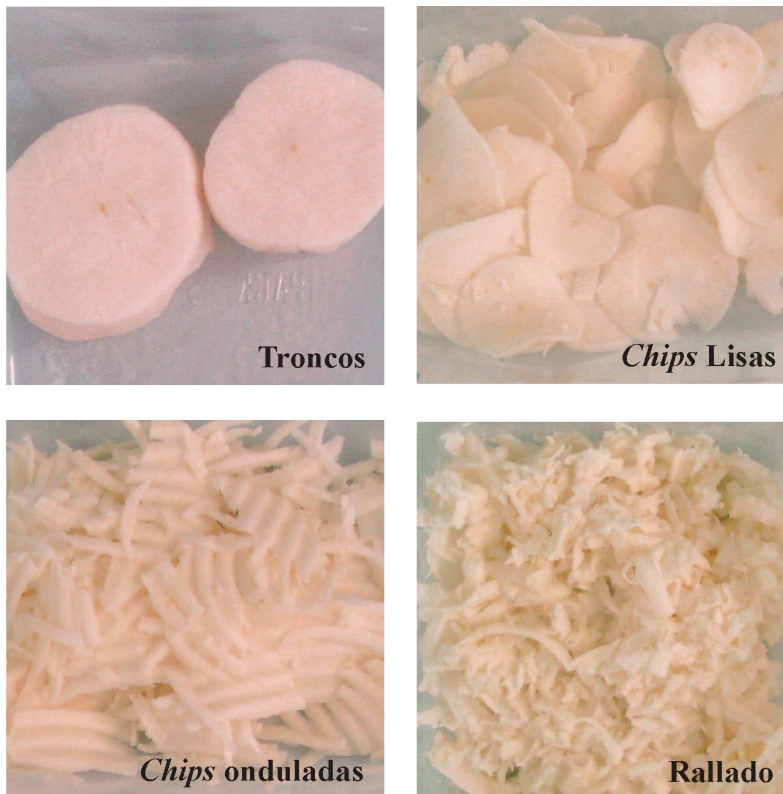


Foto 7. Presentaciones de yuca mínimamente procesada.

3.3. Parámetros de calidad evaluados

En el [Esquema 1](#) se enumeran los parámetros de calidad que fueron evaluados durante la optimización de las distintas etapas para procesar la yuca mínimamente.

Parámetros tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> -Porcentaje de pulpa procesable -Tiempo de pelado
Parámetros fisiológicos y/o relacionados con la calidad organoléptica	<ul style="list-style-type: none"> -Estriado vascular -Tasa respiratoria -Producción de etileno -Atmósfera en el interior del envase -Pérdida de peso -Deshidratación superficial -Color <ul style="list-style-type: none"> -Luminosidad -Índice de blanqueamiento -Modificación del color -Actividad peroxidasa -Actividad polifenoloxidasas -Presencia manchas amarillas -Textura <ul style="list-style-type: none"> -Firmeza -Sabor <ul style="list-style-type: none"> -Sólidos solubles totales -pH -Acidez titulable
Parámetros relacionados con la seguridad alimentaria	<ul style="list-style-type: none"> -Glucósidos cianogénicos
Parámetros relacionados con la calidad higiénico sanitaria	<ul style="list-style-type: none"> -Microorganismos aerobios mesófilos -Microorganismos aerobios psicrófilos -Hongos y levaduras
Evaluación organoléptica	<ul style="list-style-type: none"> -Análisis sensorial

Esquema 1. Parámetros de calidad evaluados durante la optimización de las distintas etapas para la obtención de yuca mínimamente procesada.

3.3.1. Parámetros tecnológicos

3.3.1.1. Porcentaje de pulpa procesable

La pulpa procesable es la cantidad de pulpa que puede ser procesada una vez se han eliminado las partes de la raíz no deseadas como son la piel, la corteza y las zonas del parénquima que presentan algún tipo de daño o deterioro. Para el cálculo de este parámetro se consideró el peso del tubérculo entero y el de los trozos de tubérculo troceado obtenido después de descartar la parte no deseada. El porcentaje de pulpa procesable se determinó en 20 tubérculos.

3.3.1.2. Tiempo de pelado

El tiempo de pelado es el tiempo que se destina a la eliminación de la piel y de la corteza de la yuca. Para la evaluación este parámetro se seleccionaron 20 yucas y se expresó en minutos por kg (min/kg).

3.3.2. Parámetros fisiológicos y/o relacionados con la calidad organoléptica

3.3.2.1. Estriado vascular

La incidencia de estriado vascular en la yuca mínimamente procesada, se determinó mediante análisis visual. Para ello se seleccionaron 20 barquetas a las que se les realizó un seguimiento diario, desde el momento del corte hasta el final de la conservación, con el fin de determinar la incidencia y la gravedad de este deterioro fisiológico. La incidencia de estriado vascular se determinó como el porcentaje de barquetas que presentaban trozos con este desorden o como el porcentaje de trozos estriados. La evaluación de la gravedad se llevó a cabo estableciendo distintos porcentajes de vascularización en los trozos de yuca, entre el 0% y el 100%.

3.3.2.2. Tasa respiratoria y producción de etileno

Para determinar la tasa respiratoria y la producción de etileno se introdujo la yuca en recipientes de cristal de volumen conocido (1,64 l para la yuca entera y 0,50 l para los trozos), tapándose herméticamente durante 1 hora. Transcurrido dicho tiempo, se extrajo con una jeringa 1 ml de la atmósfera del interior del recipiente para la determinación de la producción de dióxido de carbono y 1 ml para la determinación de la producción de etileno. Las determinaciones se hicieron en tres recipientes.

La tasa respiratoria, expresada en ml CO₂/kg*h, se determinó utilizando un analizador de infrarrojos Horiba Via-510 (Davis, EE.UU.) empleando como gas portador helio. Para realizar la curva de calibrado cada día de análisis se utilizó un estándar de dióxido de carbono al 1% (Air Liquide, Madrid, España) y aire.

La producción de etileno, expresada en $\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{h}$, se determinó utilizando un cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem (Boston, EE.UU.) equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna de alúmina 80/100 (1 m x 1/8"). La temperatura del inyector fue de 150°C y la del detector de 250°C. El horno del cromatógrafo se mantuvo a una temperatura constante de 80°C siendo el gas portador el nitrógeno (flujo constante de 45 ml/min). La calibración se realizó utilizando un estándar de etileno a una concentración de 1 $\mu\text{l/l}$ (Air Liquide).

3.3.2.3. Atmósfera en el interior del envase

La composición de la atmósfera (% de dióxido de carbono y % de oxígeno) en el interior de los envases de yuca troceada se determinó con un analizador compacto PBI Dansensor CheckMate 9900 (Madrid, España) (Foto 8). Dicho instrumento está dotado de una aguja que se introduce en la barqueta provista de un septum extrayendo mediante una bomba un volumen de aire para ser

analizado. La determinación de la composición de la atmósfera en el interior del envase se realizó diariamente en cinco barquetas.



Foto 8. Analizador de dióxido de carbono y de oxígeno para determinar la composición de la atmósfera en el interior de los envases.

Además, para determinar la acumulación de etileno en las barquetas se extrajo 1 ml de la atmósfera de la misma con una jeringa y se inyectó en el cromatógrafo de gases descrito en el apartado 3.3.2.2. Esta determinación también se realizó diariamente en cinco barquetas.

3.3.2.4. Pérdida de peso

La pérdida de peso se evaluó, durante el periodo de conservación del producto procesado, utilizando una balanza de la marca Denver Instrument Company AL-1800 (Göttingen, Alemania), de sensibilidad hasta 0,01 g y precisión de 0,001 g. Se tomó el peso inicial de los tubérculos contenido en cinco barquetas y, posteriormente, se pesaron a diario hasta el final de la conservación. La pérdida de peso se calculó como la relación del peso medido diariamente y el peso inicial.

3.3.2.5. Deshidratación superficial

La deshidratación superficial se evaluó, visualmente, como el porcentaje de trozos de yuca y de barquetas que presentaban deshidratación respecto al total de los trozos/barquetas. Para ello se seleccionaron 20 barquetas (entre 40-60 trozos) a las que se les realizó un seguimiento visual diario durante el periodo de conservación. Además, se evaluó la severidad de dicho deterioro estableciendo distintos porcentajes de deshidratación en los trozos de yuca, entre el 0% y el 100% (sólo en la evaluación de la edad fisiológica y de distintas atmósferas).

3.3.2.6. Color

El color del parénquima de yuca se determinó con un colorímetro Minolta Chroma Meter CR-300 (Wheeling, EE.UU.), usando los siguientes atributos cromáticos: luminosidad (L), tonalidad o matiz (ángulo Hue), cromaticidad, modificación del color (ΔE) e índice de blanqueamiento. Este instrumento utilizado para la medida del color es un analizador triestímulos del color reflejado por las superficies. Posee un cabezal, capaz de medir hasta una superficie de 8 mm de diámetro, utilizando iluminación difusa y un ángulo de visión de 0° (incluido el componente espectral).

En cada lectura, el colorímetro proporciona tres parámetros (L, a^* , b^*), con la posibilidad de leerlos en distintas escalas. La escala utilizada en este estudio fue la CIE 1976 (L, a^* y b^*) o CIELAB. Esta escala de color se basa en la teoría de percepción de colores opuestos, la cual establece que un color no puede ser rojo y verde o azul y amarillo al mismo tiempo, de tal forma que se pueden usar valores sencillos para describir la relación rojo/verde y amarillo/azul. Así el parámetro L determina la luminosidad, cuyo intervalo de medida se encuentra entre 0 (negro o absorción total) y 100 (blanco o reflexión total). El parámetro a^* en el intervalo entre -60 y 0 representa valores decrecientes del color verde y entre 0 y 60 valores crecientes del rojo, mientras que el parámetro b^* en el intervalo entre -60

y 0 representa valores decrecientes del color azul y entre 0 y 60 valores crecientes del amarillo. Estos valores de a^* y b^* se representan en la siguiente **Figura 14**.

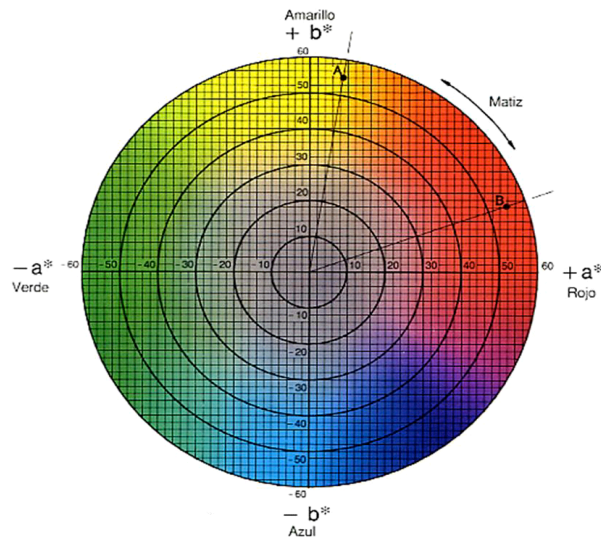


Figura 14. Diagrama CIELAB.

La tonalidad o ángulo Hue mide cómo se percibe el color del parénquima de la yuca; es decir, identifica en este caso el color blancuzco del parénquima y se calcula como:

$$\text{Ángulo Hue} = \arctg (b^*/a^*)$$

La cromaticidad representa lo llamativo o lo apagado de un color, indicando si el color se aleja o se aproxima a un tono más o menos vivo y se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Cromaticidad} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

El índice de blanqueamiento representa la tendencia al blanqueamiento de la yuca. Se calcula de acuerdo a la ecuación establecida por Bolin y Huxsoll (1991):

$$\text{Índice de blanqueamiento} = 100 - \sqrt{(100-L)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

La modificación del color (ΔE) representa los cambios de color que se producen en el parénquima de la yuca procesada a lo largo del periodo de conservación. Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Modificación del color} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Antes de proceder a la recogida de datos, el instrumento debe ser calibrado utilizando una placa estándar de color normalizado (blanco). Las medidas de los atributos de color se llevaron a cabo en la cara externa del parénquima en nueve trozos de yuca contenidos en un mínimo de tres barquetas.

3.3.2.7. Actividad enzimática: peroxidasa (POD) y polifenoloxidasas (PPO)

Para la obtención del extracto enzimático se homogenizaron 2,5 g de yuca durante 1 minuto con un tampón de extracción [10 ml de tampón fosfato 0,2 M (Merck), 1 M NaCl (Merck) y pH 7] y un 3% de polivinilpolipirrolidona (PVPP, Sigma) en un Politrón PT 3000 (Kinematica AG, Lucerna, Suiza) de alta velocidad de homogeneización, a 13.000 rpm en un baño de hielo. Posteriormente las muestras se centrifugaron en una centrífuga Jouan CR312 (Thermo Electron Corporation, Madrid, España) a 7.000 rpm durante 30 minutos a 4°C. El sobrenadante se filtró a través de una gasa, determinando su volumen que se utilizó posteriormente para la determinación de la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasas.

La actividad de la enzima peroxidasa se determinó mediante reacción de 100 μ l de peróxido de hidrógeno al 1,5% (v/v) (Sigma), 200 μ l de parafenilendiamina

al 2% (Sigma) y 25 µl de extracto enzimático en 2,7 ml de tampón fosfato 0,05 M a pH 5. La cinética de la reacción enzimática se determinó a 485 nm.

Para determinar la actividad de la enzima polifenoloxidasa se hicieron reaccionar 3 ml de catecol 0,07 M (Sigma) en tampón fosfato 0,05 M a pH 7 con 25 µl del extracto enzimático. El seguimiento de la cinética de la reacción se determinó a 420 nm.

La cuantificación de la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa se realizó mediante espectrofotometría UV-visible, utilizando un espectrofotómetro Shimadzu UV-160 (Kyoto, Japón) y se expresaron como $\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca. Cada extracción (dos) se llevó a cabo a partir de tres trozos de yuca y de cada extracto se realizaron tres medidas.

La optimización del método para la extracción y la determinación de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa en yuca se describe en el Anexo I.

3.3.2.8. Manchas amarillas

La aparición de manchas amarillas en la yuca se determinó mediante análisis visual. Para ello se seleccionaron 20 barquetas y diariamente se realizó un seguimiento visual a los trozos de yuca. Se expresó como el porcentaje de trozos de yuca que presentaban manchas amarillas respecto al total de trozos.

3.3.2.9. Firmeza

La firmeza de la yuca cruda, o la fuerza que opone el parénquima a ser penetrado (fuerza de penetración), se analizó usando un penetrómetro Chatillon DPP 25 Kg (Nueva York, EE.UU.), provisto de una punta en forma de cuña de 1 cm². Las medidas se realizaron en tres puntos distintos de la parte externa del parénquima de tres trozos de yuca provenientes de barquetas distintas. Los resultados obtenidos se expresaron en Newtons. Este método de determinación de la firmeza de los trozos de yuca cruda se llevó a cabo en los ensayos de selección

de la materia prima, optimización de la temperatura y tiempo de conservación de la yuca entera antes del procesado y en la optimización del pelado de la yuca.

Debido a la dificultad al realizar la medida de firmeza con el penetrómetro se estimó la necesidad de realizar las determinaciones con un analizador de textura Aname TA-HD-Plus (Foto 9) con una célula de carga de 250 kg, proporcionado por Aname (Madrid, España), que consta de un mecanismo para penetrar la muestra y un sistema de registro de la fuerza y el tiempo para la penetración. La medida de la firmeza (N^*s/g o N/g) o la fuerza de resistencia que ofrece el trozo de yuca crudo a ser penetrado se realizó con un punzón de 4 mm. El texturómetro fue configurado para llevar a cabo un ensayo de compresión, con una velocidad de pre-ensayo de 2 mm/s, de ensayo de 1 mm/s y de post-ensayo de 10 mm/s.

Para analizar la textura (N^*s/g o N/g) de la yuca una vez cocinada o la resistencia a la cizalladura se empleó una célula de Kramer que consta de 5 cuchillas de acero inoxidable (HPD/K55) acoplada a una plataforma (HDP/90), también de acero inoxidable. Esta célula combina extrusión, compresión y fuerza de corte, de forma que se simula la masticación. El texturómetro fue configurado para llevar a cabo un ensayo de compresión, con una velocidad de pre-ensayo y ensayo de 2 mm/s y una velocidad de post-ensayo de 10 mm/s. La medida se hizo con 15-50 g de yuca cocinada colocada en la base de la célula de Kramer formando una superficie homogénea. Los análisis se llevaron a cabo en tres trozos de yuca provenientes de tres barquetas diferentes.



Foto 9. Analizador de textura Aname TA-HD-Plus.

3.3.2.10. Parámetros relacionados con el sabor

Los parámetros relacionados con el sabor de la yuca que se analizaron fueron: sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable. Estos parámetros se evaluaron en un homogeneizado de 5 g de yuca con 20 ml de agua destilada. Todos los análisis se hicieron en tres trozos de yuca provenientes de barquetas distintas.

La medida de SST, expresados en °Brix, se efectuó utilizando un refractómetro de mano Atago ATC-1 (Tokio, Japón), cuyo intervalo de medida comprende 0-32°Brix, con una escala de 0,2 grados de división mínima. Aunque la concentración de SST puede ser mayor al contenido de azúcares (debido a la presencia de otros compuestos solubles) existe un alto coeficiente de correlación entre este parámetro y el contenido en azúcares, lo que hace a este parámetro un índice químico rápido del contenido en azúcares del tubérculo.

El pH se midió con un pH-metro WTW 523 (St Woburn, EE.UU.). Se tomaron 10 ml del homogeneizado de yuca y se llevaron a ebullición,

manteniéndolo en agitación. Con este proceso se eliminó el dióxido de carbono disuelto que puede interferir en la determinación de la acidez de la muestra. La muestra se dejó enfriar y la medida de pH se hizo a temperatura ambiente.

La acidez titulable se determinó según el método de referencia de la AOAC (1990). Una vez medido el pH se realizó una valoración con una disolución estándar de hidróxido sódico (Merck) 0,1 N hasta pH 8,1 y los resultados se expresaron como mg ácido cianhídrico/100 g yuca.

3.3.3. Parámetros relacionados con la seguridad alimentaria: glucósidos cianogénicos

El proceso de extracción consistió en la mezcla de la muestra (0,50 g) con 2 ml ácido orto-fosfórico 0,1 M (Panreac) como agente extractante, y posterior homogeneizado en un Politrón PT 3000 Kinematica AG de alta velocidad de homogeneización, a 13.000 rpm durante 1 minuto en un baño de hielo. Después la mezcla se centrifugó en una centrífuga Jouan CR312 (Thermo Electron Corporation) a 3.800 rpm y 4°C, durante 40 minutos.

Al sobrenadante (0,5 ml) se le añadieron 0,5 ml de ácido sulfúrico 4 M (Panreac) para realizar la hidrólisis de los glucósidos cianogénicos. La mezcla se hidrolizó en un baño a 100°C durante 30 minutos en agitación. Una vez transcurrido este tiempo se añadió 1 ml de hidróxido sódico 3,6 M (Merck) y ácido pícrico (a la concentración final de 0,075%, preparado en carbonato sódico). Dicha mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente durante 3 horas a temperatura ambiente. La optimización del método para la extracción, hidrólisis y cuantificación de los glucósidos cianogénicos en yuca se describe en el Anexo II.

La cuantificación espectrofotométrica de los compuestos cianogénicos se realizó utilizando un espectrofotómetro Shimadzu UV-160 a la longitud de onda de 510 nm y los resultados se expresaron como mg ácido cianhídrico/kg yuca. Se realizaron tres medidas de cada extracto (tres) procedente de tres trozos de yuca.

Se realizó una curva de calibrado para conocer la cantidad de ácido cianhídrico en las muestras de yuca evaluadas.

3.3.4. Parámetros relacionados con la calidad higiénico-sanitaria: análisis microbiológico de yuca

Como referencia acerca de los límites legales para la calidad microbiológica de la yuca entera y cortada se tomó la legislación española sobre las normas de higiene para las comidas preparadas (Real Decreto 3484/2000) donde se regula el contenido en microorganismos aerobios mesófilos en los vegetales mínimamente procesados.

El recuento de microorganismos aerobios mesófilos, aerobios psicrófilos y hongos y levaduras se realizó siguiendo la técnica basada en diluciones decimales seriadas y siembra en placa. Para ello se tomaron 6 g de una muestra representativa de yuca y se añadieron 54 ml de agua peptonada (Sigma), preparada al 0,1% en una bolsa estéril. A continuación se homogeneizó la mezcla en un Stomacher 80 Biomaster (Seward, Reino Unido) durante 2 minutos a 300 rpm para obtener así la dilución 10^{-1} de la muestra. A continuación, se realizaron sucesivas diluciones tomando 1 ml de la dilución anterior y añadiéndola a un tubo de ensayo que contenía 9 ml de peptona. La preparación de la muestra se hizo por duplicado y aquellas diluciones que fueron seleccionadas como adecuadas se sembraron en placas por duplicado para poder realizar los recuentos microbianos. En este proceso se tomaron algunas precauciones especiales. Así, antes de tomar la muestra para su dilución o siembra, es necesario homogeneizar bien la muestra para evitar que los microorganismos se sedimenten en la parte inferior del tubo. Además, las operaciones de toma de muestra y homogeneización se realizaron bajo estrictas condiciones de esterilidad con el fin de evitar contaminaciones exteriores y todo el material que se utilizó fue autoclavado.

La evaluación de microorganismos aerobios mesófilos y aerobios psicrófilos se realizó en medio PCA (Plate Count Agar) (Panreac) preparado en agua destilada al 1,41% y esterilizado a 120°C durante 20 minutos. A partir de la serie de diluciones decimales se realizó la siembra en profundidad. Para ello se depositó 1 ml de la muestra a la dilución deseada en placas de Petri estériles a las que se les añadió aproximadamente 20 ml de PCA, se homogeneizó mediante movimientos circulares y se dejó solidificar el medio. La incubación se hizo a 30°C durante 72 horas para los microorganismos aerobios mesófilos y a 5°C durante siete días para los aerobios psicrófilos.

La evaluación de hongos y levaduras se realizó en medio Cloranfenicol Glucosa Agar (GCA) (Panreac) preparado en agua destilada al 4,25% y esterilizado a 120°C durante 20 minutos. A partir de la serie de diluciones decimales se realizó una siembra en superficie. Para ello se depositó 1 ml de la muestra a la dilución deseada en placas de Petri estériles en las que se habían dejado solidificar aproximadamente 20 ml de GCA y se extendió la muestra uniformemente por la superficie del medio con un asa de siembra. La incubación se hizo a 25°C durante cinco días.

El recuento de microorganismos aerobios mesófilos, aerobios psicrófilos y hongos y levaduras se hizo en aquellas placas en las que el número de colonias estaba comprendido entre 30 y 300 colonias. El resultado se expresó como el logaritmo de las unidades formadoras de colonias por gramo [Log (ufc/g)].

3.3.5. Evaluación organoléptica

Teniendo en cuenta que desde el punto de vista comercial es de vital importancia la aceptación de un producto por el consumidor, se estableció un panel de catadores conocedores del producto formado por, entre 3 y 13 hombres y mujeres con edades comprendidas entre 25 y 56 años.

El análisis organoléptico se realizó tanto sobre el producto procesado envasado en crudo como sobre el producto una vez cocinado con agua y sal

durante 1 hora, aproximadamente. Las pruebas consistieron, en primer lugar, en una prueba de aceptación-preferencia en la que el panel de catadores valoró el aspecto general de la yuca cruda de acuerdo a una escala lineal de 0 a 10 desde inaceptable hasta muy aceptable. A continuación mediante una prueba descriptiva-cuantitativa con una escala lineal en intensidad de 0 a 10 se evaluó el color desde nada pardo (sin estriado vascular) hasta muy pardo. Mediante pruebas discriminativas en la que se decide entre dos opciones (sí/no) señalaron la presencia o ausencia de zonas deshidratadas, zonas amarillas o estriado vascular. En el caso de evaluar más de un tratamiento se les pidió que los ordenaran de mayor a menor incidencia para cada uno de los deterioros evaluados. Por último, se solicitó a los catadores que señalaran si comprarían o no el producto crudo (prueba discriminativa).

A continuación, los catadores evaluaron el producto cocinado. Así, mediante una prueba de aceptación-preferencia, valoraron el aspecto general y el color de la yuca cocinada utilizando escalas lineales en intensidad de 0 a 10 desde inaceptable a muy aceptable. Para evaluar el sabor, se llevó a cabo una prueba descriptiva en la que se preguntó a los catadores si percibían la presencia de sabores extraños, amargos o normales. Además, a través de una prueba discriminativa debían señalar si comprarían o no el producto una vez cocinado. Por último, cada uno de los catadores debía seleccionar uno de los productos evaluados en función de la percepción que habían tenido tanto en las barquetas cerradas como en la yuca cocinada.

3.4. Cronograma y desarrollo de los ensayos

El [Esquema 2](#) representa un cronograma de los ensayos en el que se indican los días en los que se llevaron a cabo las evaluaciones de calidad y el número de barquetas (entre paréntesis) que se utilizaban en dichas determinaciones.

	Selección de materia prima	Pre-refrigeración	Lavado yuca entera	Pelado yuca entera	Tratamiento térmico	Recubrimientos comestibles
Parámetros tecnológicos	(x)	(x)		(x)	(x)	
Pulpa procesable (%)						
Tiempo de pelado						
Parámetros fisiológicos, calidad sensorial						
Tasa respiratoria	(b)	(b)		(b)	(b)	
Producción de etileno	(bb)	(bb)		(bb)	(bb)	
Atmósfera en el envase	(i)	(i)		(i)	(i)	
Pérdida de peso	(ii)	(ii)		(ii)	(ii)	
Deshidratación, estriado y zonas amarillas	(z)	(z)		(z)	(z)	(z)
Color	(e)	(e)		(e)	(e)	
POD y PPO	(ee)	(ee)		(ee)	(ee)	
Firmeza	(ee)	(ee)		(ee)	(ee)	
SST, pH y acidez titulable	(ee)					
Parámetros de seguridad alimentaria						
Glucósidos cianogénicos	(ee)	(ee)		(ee)	(ee)	(ee)
Parámetros de calidad higiénico-sanitaria						
Mesófilos (M), psicrófilos (Ps), hongos y levaduras (H+L)			M, H+L	M, H+L		
Evaluación organoléptica						
Análisis sensorial	(a)	(a)		(a)	(a)	(a)

Esquema 2. Cronograma y parámetros analizados en los ensayos de optimización del procesado mínimo de yuca. (x) equivale a 20 yucas; (z) equivale a 20 barquetas no destructivas; (b) equivale a 300 gramos de yuca; (bb) equivale a los mismos 300 gramos de yuca de (b); (i) equivale a cinco barquetas no destructivas; (ii) equivale a las mismas cinco barquetas no destructivas de (i); (e) equivale a dos barquetas destructivas; (ee) equivale a las mismas dos barquetas destructivas de (e); (a) equivale a cuatro barquetas. POD, actividad peroxidasa, PPO, actividad polifenoloxidasas, SST, sólidos solubles totales.

	<i>Films</i>	Atmósfera modificada	Temperatura conservación	Simulación cadena comercial	Comparación entero-cortado	Presentaciones
Parámetros tecnológicos						
Pulpa procesable (%)						
Tiempo de pelado						
Parámetros fisiológicos, calidad sensorial						
Tasa respiratoria				(b)	(b)	(b)
Producción de etileno	(b)	(b)	(b)	(bb)	(bb)	(bb)
Atmósfera en el envase	(i)	(i)	(i)	(i)	(i)	(i)
Pérdida de peso		(ii)	(ii)	(ii)	(ii)	(ii)
Deshidratación, estriado y zonas amarillas	(z)	(z)	(z)	(z)	(z)	(z)
Color		(e)	(e)	(e)	(e)	(e)
POD y PPO		(ee)	(ee)	(ee)	(ee)	(ee)
Firmeza		(ee)	(ee)	(ee)	(ee)	(ee)
SST, pH y acidez titulable						
Parámetros de seguridad alimentaria						
Glucósidos cianogénicos						
Parámetros de calidad higiénico-sanitaria						
Mesófilos (M), psicrófilos (Ps), hongos y levaduras (H+L)		M, Ps, H+L	M, Ps y H+L	M, Ps y H+L	M, Ps y H+L	M, Ps y H+L
Evaluación organoléptica						
Análisis sensorial		(a)	(a)	(a)	(a)	(a)

Esquema 2. Continuación.

3.5. Análisis estadístico de los resultados

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo con el programa Statgraphics Plus versión 5.1 (Statistical Graphics, Rockville, EE.UU.). El Test de Grubbs se aplicó a los resultados experimentales para la detección de datos anómalos que no siguen una distribución normal. Se aplicó un análisis de varianza ANOVA para evaluar el efecto de los tratamientos aplicados sobre los parámetros de calidad de la yuca mínimamente procesada. El test “Fisher’s Least-Significant-Difference” (LSD) se aplicó a los resultados experimentales para estimar las diferencias significativas entre pares con un nivel de confianza del 95%. Además, dicho programa estadístico se utilizó, en la optimización del lavado de la yuca entera, para generar el diseño experimental, el ANOVA y obtener los gráficos superficie-respuesta.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta Tesis Doctoral se ha abordado la optimización de las etapas conducentes al procesado mínimo de la yuca. Cada una de las operaciones para la preparación de los tubérculos mínimamente procesados debe estar correctamente optimizada para conseguir un producto final de calidad y seguridad satisfactorias. Con este objetivo se ha seleccionado la materia prima que mejor aptitud presentaba al procesado mínimo mediante la selección del tipo de transporte del tubérculo una vez que éste se recolecta hasta el lugar donde se procesa, el tipo de raíz, el tipo de terreno de cultivo y la edad fisiológica de la yuca. Además, se han optimizado la temperatura y tiempo de conservación del tubérculo entero hasta que éste es procesado. Se evaluaron las condiciones de lavado de la yuca entera y distintos tratamientos que podrían facilitar el pelado del tubérculo. Se ha estudiado la influencia de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre la calidad final de la yuca mínimamente procesada. Además, se evaluaron distintas condiciones de envasado (utilización de *films* con diferentes permeabilidades, modificación de la concentración de gases de la atmósfera de envasado) y de temperatura (durante la conservación y simulación de la cadena comercial del tubérculo mínimamente procesado). Una vez que las distintas etapas del procesado se consideraron optimizadas se comparó la calidad final del producto entero y la del producto procesado durante la vida útil de este último. Por último, se evaluó la calidad y aceptación por parte del consumidor de distintas presentaciones de la yuca procesada.

4.1. Deterioro fisiológico y microbiológico de la yuca cuando se procesa mínimamente

Debido a que no se conoce el comportamiento de la yuca mínimamente procesada durante el periodo de almacenamiento y a que existe escasa bibliografía referida a este producto, fue necesario realizar un ensayo preliminar para conocer

la aptitud de este producto al procesado mínimo. Se evaluaron, visualmente, todos aquellos aspectos que estuvieran relacionados con el deterioro fisiológico y microbiológico de la yuca. Dichos procesos de deterioro fueron los siguientes:

- Estriado vascular
- Deshidratación
- Aparición de manchas amarillas
- Crecimiento microbiano

Uno de los principales problemas que presentó la yuca cuando fue procesada fue la presencia de estriado vascular en las raíces. Dicho deterioro fisiológico se manifestó en forma de un rallado de color negro-azulado a lo largo del parénquima de la yuca. Se trata un deterioro provocado por la acumulación de compuestos fenólicos que tiene lugar una vez que la yuca es recolectada. Este proceso se inicia en los puntos donde hay daños mecánicos, entre las 24 y 48 horas después de ser cosechada. Una vez procesada la yuca que, aparentemente no tenía estriado, empezó a desarrollar el estriado a los dos días de conservación. Buschmann *et al.* (2000a) llevaron a cabo un estudio en el que evaluaron nueve cultivares de yuca y observaron que la aparición del estriado vascular, transcurridas 24-48 horas después de la cosecha, depende de la variedad de yuca. En la **Foto 10** se observan los distintos grados de severidad de estriado vascular en trozos de yuca, 0, 25-30, 50-60 y 100%.

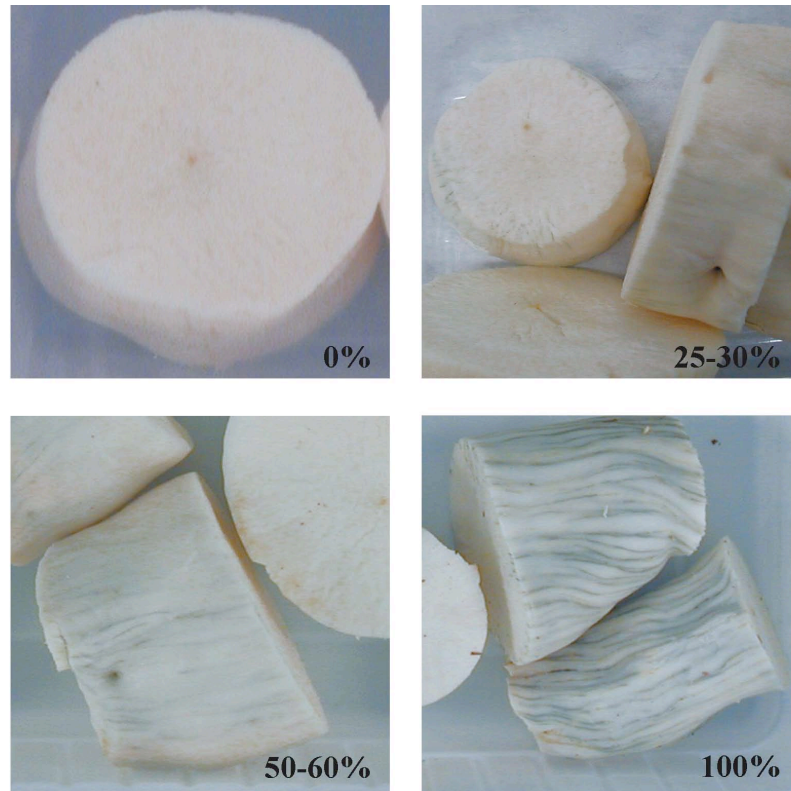


Foto 10. Distintos grados de severidad de estriado vascular en trozos de yuca.

Como consecuencia de la descompartimentalización celular que se produjo al pelar y cortar la yuca, aparecieron manchas amarillas en el parénquima debido a la presencia de hidroxycumarinas, tales como la escopolatina, una cumarina que se encuentra en muy baja concentración en raíces frescas, pero que aumenta considerablemente después de la cosecha (Rickard, 1982) (Foto 11). Dicho deterioro se manifestó a los seis días de conservación.



Foto 11. Manchas amarillas.

La deshidratación se observó en zonas de corte de la yuca. Este deterioro está relacionado con la pérdida de agua durante el almacenamiento (Wheathley, 1983; Cooke *et al.*, 1988). La superficie del trozo adquirió, según puede observarse en la Foto 12, un color blanco tiza y aparecieron zonas agrietadas que pueden hacer que el producto sea rechazado por el consumidor. Este deterioro apareció a los cuatro días de conservación.



Foto 12. Aspecto de yuca mínimamente procesada sin síntomas de deshidratación (izquierda) y con deshidratación (derecha).

El crecimiento microbiano o secundario es causado por agentes patógenos, hongos y/o bacterias que inducen la fermentación y ablandamiento de las raíces.

Este deterioro ocurrió después del deterioro fisiológico e implicó pudrición microbiana a los cinco-seis días después de la cosecha (Booth, 1976; Jansen y Wheatley, 1985; Wheatley, 1987). En estudios realizados por Sánchez y Alonso (2002) primero se manifestó un estriado vascular y posteriormente se convirtió en una pudrición húmeda con fermentación y maceración de los tejidos. En nuestro estudio estuvo favorecido por las heridas o daños mecánicos producidos durante la cosecha y fue visible, en el parénquima, a partir del séptimo día de conservación (Foto 13).



Foto 13. Crecimiento microbiano.

El estriado o rallado vascular es, por tanto, el principal deterioro fisiológico que se produce en la yuca mínimamente procesada. Teniendo en cuenta que este deterioro implica una serie de cambios sensoriales en los trozos de yuca, se estudió la posible correlación entre este desorden fisiológico y diferentes parámetros utilizados para la evaluación de la calidad: luminosidad (L), a^* , b^* , tonalidad (ángulo hue), cromaticidad, modificación del color (ΔE), índice de blanqueamiento, actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasas y contenido en glucósidos cianogénicos.

Se utilizó un análisis de correlación lineal para medir la fuerza de la relación entre el estriado vascular, medido en siete niveles de estriado entre el 0 y el 100%,

y los parámetros de color. En la [Tabla 7](#) se muestran los parámetros de calidad (coeficiente de correlación obtenido y valor de p) de las distintas correlaciones evaluadas.

Tabla 7. Coeficientes de correlación y valores de p obtenidos de la correlación entre diferentes parámetros de calidad evaluados en la yuca mínimamente procesada y el estriado vascular.

	Coeficiente de correlación (r)	Valor p
Luminosidad	- 0,752	0,000
a*	0,315	0,000
b*	0,560	0,000
Ángulo Hue	- 0,255	0,000
Cromaticidad	0,596	0,000
Modificación del color	0,819	0,000
Índice de blanqueamiento	- 0,718	0,000
Actividad peroxidasa	0,977	0,000
Actividad polifenoloxidasa	- 0,002	0,993
Glucósidos cianogénicos	- 0,309	0,356

Como se puede observar, el valor de p para todos los parámetros de color estudiados fue inferior a 0,001, lo que indica que existe una relación estadísticamente significativa entre el parámetro de calidad analizado y el estriado vascular. Sin embargo, esta relación fue sólo moderadamente fuerte en la evaluación de L, b*, cromaticidad, modificación del color (ΔE) e índice de blanqueamiento. Es interesante resaltar la correlación existente entre el estriado vascular y los parámetros de color L, ΔE e índice de blanqueamiento ([Figuras 15a](#) y [15b](#)), siendo una correlación negativa en el caso de L y del índice de blanqueamiento y positiva en el del ΔE .

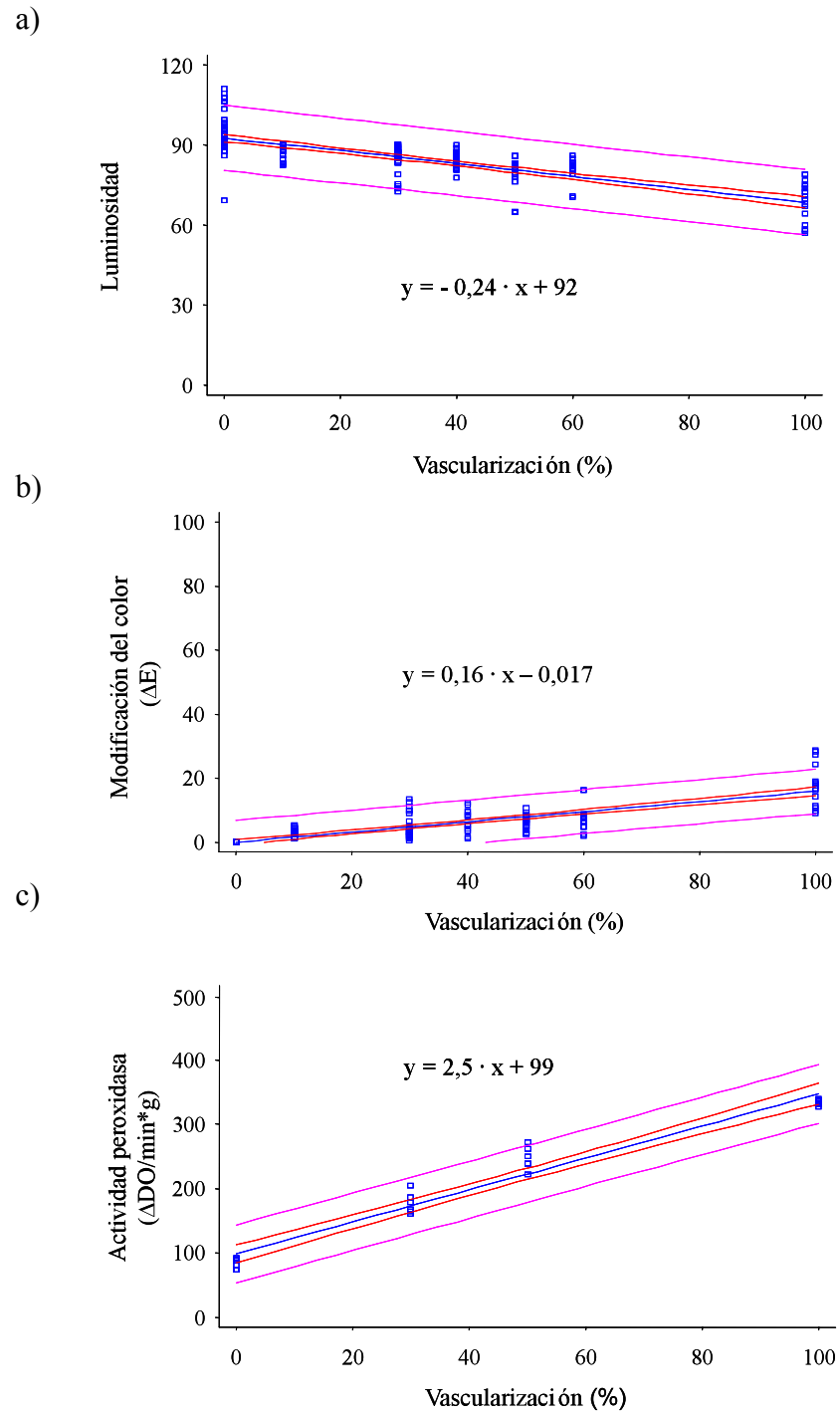


Figura 15. Correlaciones entre el desarrollo de estriado vascular (%) y la luminosidad (a), la modificación del color (b) y la actividad de la enzima peroxidasa (c). —, límite de confianza ($p < 0,05$); —, límites de predicción.

Por lo tanto, a medida que aumenta el estriado vascular se produce una disminución de L y del índice de blanqueamiento y un aumento del ΔE , (es decir, se produce una modificación del color de la yuca recién cortada) lo que coincide con la apreciación sensorial subjetiva que se tiene al evaluar la yuca con estriado vascular. Silva *et al.* (2003) observaron al procesar yuca que el grado de oscurecimiento o modificación del color (ΔE) aumentó a medida que se incrementó la incidencia de estriado vascular durante la conservación.

Sin embargo, la correlación más clara se encontró entre el estriado vascular y una de las enzimas relacionadas con los procesos de pardeamiento enzimático: la enzima peroxidasa (Tabla 7, Figura 15c). Dicha correlación fue medida a cuatro niveles de estriado entre el 0 y el 100% e indicó que cuando aumentó el estriado vascular se produjo un incremento de la actividad peroxidasa en los tubérculos. Diversos autores, Plumbey *et al.* (1981), Rickard (1985) y Hirose *et al.* (1986) observaron que el deterioro fisiológico de la yuca durante la poscosecha va aparejado a un incremento de la actividad de la enzima peroxidasa. Bezerra *et al.* (2002a) señalaron que, al procesar la yuca, se producía un incremento de la actividad de la enzima peroxidasa durante la conservación a 8°C, alcanzando a los siete días una actividad de aproximadamente 85 $\Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca. Además, la actividad de la enzima polifenoloxidasas aumentaba durante los diez primeros días de conservación. Buschmann *et al.* (2000b) detectaron un pequeño incremento de la actividad peroxidasa en yuca de la variedad “MNGA-2” durante las primeras 24 a 48 horas tras la recolección. Sin embargo, se produjo un rápido incremento en la actividad de esta enzima entre el tercer y el sexto día de conservación aumentando hasta seis veces la actividad respecto a la inicial. De forma paralela a este incremento hubo una disminución en la concentración de la escopoletina, así como un incremento de la coloración negro-azulada del tejido vascular y parenquimático asociada al desarrollo del estriado vascular. El análisis estadístico de la correlación entre el estriado vascular y la actividad polifenoloxidasas ($p =$

0,993) y los glucósidos cianogénicos ($p = 0,356$), también medida en cuatro niveles de estriado entre el 0 y el 100%, indicó que no existen correlaciones significativas entre estos parámetros y dicho deterioro fisiológico (Tabla 7).

4.2. Selección de la materia prima

La presencia de estriado vascular en las raíces de yuca, debido a una recolección y postcosecha no adecuada, hace que el tubérculo no sea apto para el procesamiento tecnológico. Existen numerosos estudios que demuestran que la materia prima influye notablemente en la calidad final de los tubérculos mínimamente procesados como zanahorias (*Daucus carota* L.) (Vieira *et al.*, 2005), las papas (*Solanum tuberosum* L.) (Cantos *et al.*, 2002; Haverkort *et al.*, 2002; Pineli *et al.*, 2005a), batatas (*Ipomoea batatas* L.) (Moretti *et al.*, 2002), etc. Por lo tanto, para determinar por qué se producía este deterioro y cómo podía reducirse o evitarse, se estudiaron distintos aspectos relacionados con la calidad de la materia prima como son: las condiciones de temperatura-tiempo de transporte (aéreo o marítimo), el tipo de raíz (primaria o secundaria), el tipo de terreno (arcilloso o pedregoso) y la edad fisiológica del cultivo (11 y 18 meses).

4.2.1. Condiciones de transporte de la yuca hasta la planta de procesado

Teniendo en cuenta que, en ocasiones, la yuca se puede producir lejos de la planta de procesado mínimo y que el deterioro por estriado vascular se inicia entre las 24 y 48 horas después de que la yuca es cosechada (Rickard, 1985; Kato y Souza, 1987; Beeching *et al.*, 1998; Cortés *et al.*, 2002; Reilly *et al.*, 2003), las condiciones del transporte utilizado para llevar la yuca al lugar de procesamiento pueden influir en la calidad del producto entero que va a ser procesado. Este hecho tuvo lugar también durante el desarrollo de esta Tesis Doctoral ya que, en Canarias, la yuca se produce en la isla de El Hierro y las instalaciones del ICIA (donde se desarrolló el trabajo experimental) están en la isla de Tenerife (distancia

de 125 Km en un territorio que no es continuo). Por lo tanto, se evaluaron las condiciones del transporte entre El Hierro y Tenerife seleccionando dos vías para el envío del material vegetal una vez procesado (aérea o marítima) con el fin de conocer si afectaban al deterioro de la yuca antes de éste.

El transporte de la yuca en avión permitió que la yuca pudiera ser procesada 24 horas después de su recolección mientras que cuando el transporte tuvo lugar en barco el procesado no se pudo realizar hasta cuatro o cinco días después de que la yuca fue recolectada. Además, tal como puede apreciarse en la **Figura 16**, durante el transporte aéreo la temperatura del tubérculo se mantuvo relativamente constante ($21 \pm 2^\circ\text{C}$). Sin embargo, cuando el transporte tuvo lugar en barco se produjeron oscilaciones importantes en la temperatura ($22 \pm 2^\circ\text{C}$ de máxima y $8 \pm 2^\circ\text{C}$ de mínima).

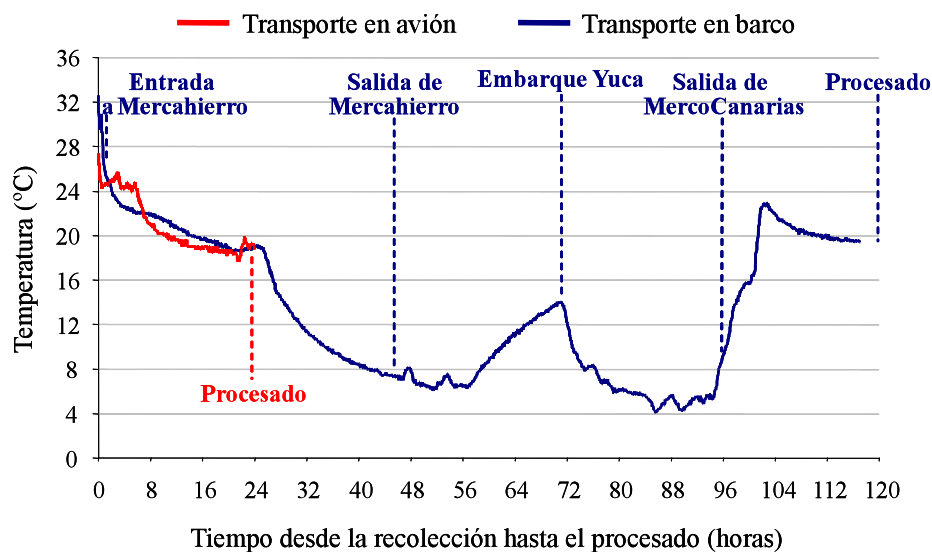


Figura 16. Registro de temperatura durante el transporte aéreo y marítimo de yuca desde la isla de El Hierro hasta la isla de Tenerife.

Mientras que el 97% de los tubérculos transportados en avión pudo ser procesado sólo pudo procesarse el 18% de los transportados en barco, ya que el

resto presentaba cuando se pelaba un alto desarrollo de vascularización que imposibilitaba su procesado (Foto 14).



Foto 14. Aspecto de los trozos de yuca que fueron transportados en avión (izquierda) y en barco (derecha).

Una vez desechados aquellos tubérculos que eran totalmente improcesables, se calculó el porcentaje de pulpa procesable en aquellos que pudieron ser total o parcialmente procesados. Dicho porcentaje fue mucho mayor en la yuca transportada en avión, $70 \pm 6\%$, que en la transportada en barco, $30 \pm 14\%$, por la alta incidencia de estriado vascular que presentaron dichos tubérculos.

Desde el punto de vista industrial es necesario conocer el tiempo destinado a la operación de pelado del producto que se va a procesar. La yuca muestra dificultades a la hora de ser pelada ya que debajo de la piel presenta una zona denominada corteza que está fuertemente adherida al parénquima y que ha de ser eliminada por su alto contenido en glucósidos cianogénicos. El tiempo destinado a la operación de pelado de la yuca fue significativamente mayor en los tubérculos transportados vía marítima ($4,4 \pm 2,6$ min/kg) que en los transportados vía aérea ($3,4 \pm 1,2$ min/kg). Este hecho, unido a la escasa incidencia de estriado vascular de los tubérculos transportados por avión, sugieren que las condiciones durante el

transporte de la yuca, antes del procesado, influyen enormemente en la calidad de los tubérculos, por lo que cuando la planta de procesado no está cerca de los campos de cultivo el transporte entre éstos ha de realizarse lo más rápido posible y, a ser posible, en condiciones de temperatura controladas.

Una vez seleccionada la yuca que pudo ser procesada, no se observaron diferencias significativas en la luminosidad y en el índice de blanqueamiento (88 ± 1 y 82 ± 1 , respectivamente) de los trozos de yuca transportada por avión y barco en el momento del procesado.

La actividad peroxidasa de la yuca transportada por avión y barco (158 ± 18 Δ DO/min*g yuca) fue igual. En cuanto a la actividad de la enzima polifenoloxidasas, se observó que la yuca que había sido transportada vía marítima presentó mayor actividad que la que había sido transportada vía aérea (Figura 17).

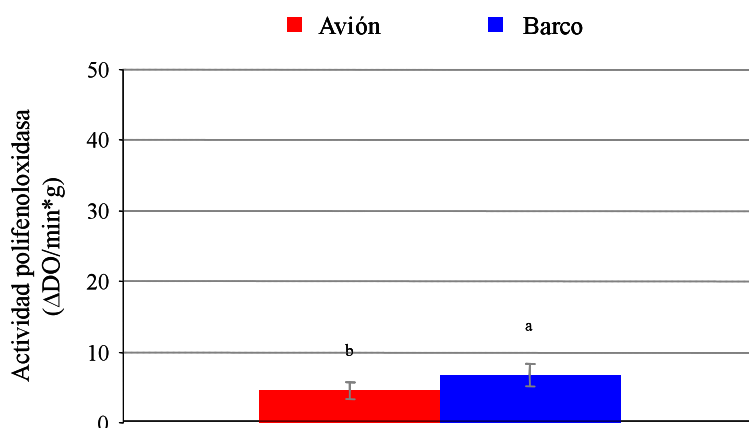


Figura 17. Actividad de la enzima polifenoloxidasas (Δ DO/min*g) de yuca procesada mínimamente transportada por vía aérea y marítima. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre medios de transporte.

La firmeza de la yuca transportada por avión fue menor (43 ± 2 N) que la de la yuca transportada por barco (63 ± 4 N).

El contenido en sólidos solubles totales fue similar en la yuca transportada por vía aérea y marítima ($4,4 \pm 0,4^\circ$ Brix). El pH de la yuca transportada por vía

marítima ($6,0 \pm 0,1$) fue ligeramente superior al de la transportada en avión ($5,9 \pm 0,1$). En cambio, la acidez titulable fue ligeramente superior en los trozos procedentes del transporte aéreo que del marítimo ($2,7 \pm 0,1$ y $2,3 \pm 0,3$ mg ácido cianhídrico/100 g yuca, respectivamente).

El contenido en glucósidos cianogénicos fue similar en la yuca transportada vía aérea y marítima (119 ± 26 mg/kg yuca), estando dicha cantidad dentro de los límites en los que se considera la variedad como *yuca dulce* [< 180 mg/kg de yuca (Sánchez, 2004)], por lo que su consumo es seguro.

Además, se llevó a cabo una evaluación sensorial de la yuca que pudo ser procesada cuando ésta fue pelada y troceada. El panel de catadores valoró, del producto crudo, el aspecto general y el color, así como, del producto cocinado, el aspecto general externo, el color y el sabor. En la [Figura 18](#) se observa que el panel de catadores evaluó ligeramente mejor todos los parámetros de la yuca que había sido transportada por avión, especialmente el aspecto general de la yuca cocinada (8 ± 1 y 6 ± 1 para la yuca transportada en avión y barco, respectivamente) y el sabor (8 ± 1 y 7 ± 2 para la vía aérea y marítima, respectivamente).

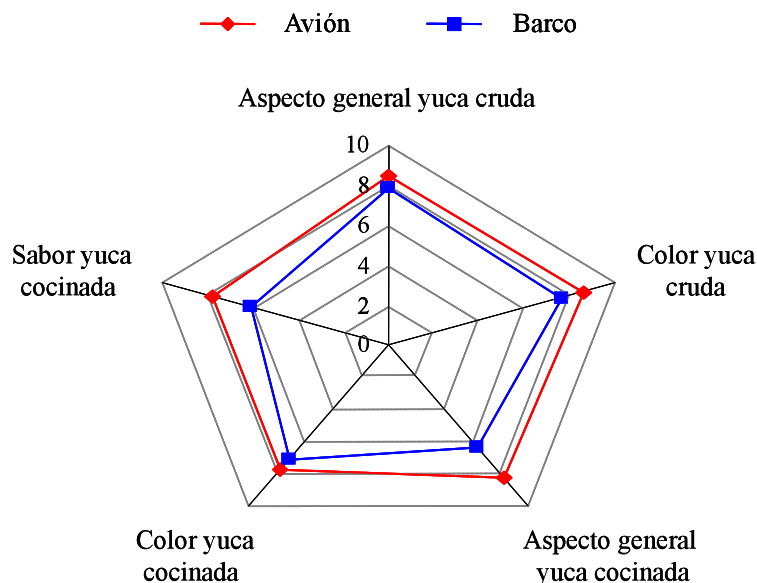


Figura 18. Evaluación sensorial de yuca cruda y cocinada transportada por vía aérea y marítima en el momento de ser procesada.

Todos los catadores indicaron que comprarían tanto la yuca que había sido transportada en avión como la transportada en barco.

Por todo lo anteriormente mencionado, se seleccionó la vía aérea como el transporte óptimo para desplazar la yuca desde su lugar de origen, la isla de El Hierro, hasta el lugar donde iba a ser procesada, la isla de Tenerife.

4.2.1.1. Transporte de la yuca por vía aérea

Como se describió con anterioridad, la cantidad de yuca transportada por vía marítima que pudo ser procesada fue insuficiente para llevar a cabo un estudio en profundidad de los distintos parámetros que determinan la calidad de la yuca mínimamente procesada durante la conservación a 5°C. Por tanto, estos parámetros sólo se evaluaron en la yuca que fue transportada vía aérea. Este ensayo permitió también conocer cómo se modificaba la calidad de la yuca mínimamente procesada durante la conservación a 5°C.

Durante los siete días de conservación de la yuca mínimamente procesada, procedente de los tubérculos que habían sido transportados en avión, se observó

un incremento del porcentaje de barquetas con trozos vascularizados. Mientras que al tercer día de conservación, sólo el 16% de las barquetas presentaron dicho deterioro, al séptimo lo presentaron un 53% de las mismas. Dicho deterioro lo observaron Oliveira *et al.* (2003) cuando envasaron, en bolsas, trozos de yuca de la variedad “IAC 576-70” a los que no se les aplicó ningún tratamiento y las conservaron a 4°C. Bezerra *et al.* (2002a) también observaron que la yuca mínimamente procesada de la variedad “Baianinha”, a la que no se le aplicó ningún tratamiento, sufrió un deterioro fisiológico, en forma de estriado vascular, que se manifestó a los nueve días de conservación.

Se determinó la tasa respiratoria inicial, de la yuca entera y de los trozos de yuca recién procesados que habían sido transportados vía aérea y se observó que durante las primeras cinco horas después del corte de la yuca (a 5°C) la tasa respiratoria del producto entero y de los trozos fue similar. Además, se observó que la tasa respiratoria de los trozos y el producto entero de yuca se mantuvo constante durante este tiempo. Sin embargo, Moretti *et al.* (2002) observaron que al procesar mínimamente tres cultivares de batata, la tasa respiratoria se incrementó durante las cuatro primeras horas después del corte.

La producción de etileno a 5°C del producto entero así como de los trozos de yuca recién procesados no fue detectable. Según Cantwell y Suslow (2002) la producción de etileno de los tubérculos frescos como la yuca, la papa y la zanahoria es muy baja, estando por debajo de 0,1 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{h}$ a 20°C. Del Águila *et al.* (2006) observaron que, independientemente del corte y de la temperatura de conservación después del procesado, el rábano (*Raphanus sativus* L.) no produjo etileno hasta pasadas nueve horas después del corte.

Una vez procesada y envasada la yuca se evaluó la atmósfera en el interior de las barquetas. En la **Figura 19** se observa que el porcentaje de oxígeno se mantuvo constante a lo largo del periodo de conservación ($20 \pm 0\%$). El porcentaje de dióxido de carbono aumentó significativamente el primer día de

conservación para permanecer posteriormente constante hasta el último día de conservación ($0,23 \pm 0,15\%$). Silva *et al.* (2003) también observaron que al envasar trozos de yuca en aire, en bandejas de policloruro de vinilo y selladas con un *film* permeable (permeabilidad al oxígeno de $5.680 \text{ ml/m}^2\cdot\text{día}$ y al dióxido de carbono de $80.520 \text{ ml/m}^2\cdot\text{día}$) a 10°C durante tres días (establecieron dicho periodo de conservación debido a la alta incidencia de estriado vascular en los trozos de yuca) se mantuvo constante la concentración de oxígeno y de dióxido de carbono en el interior del envase.

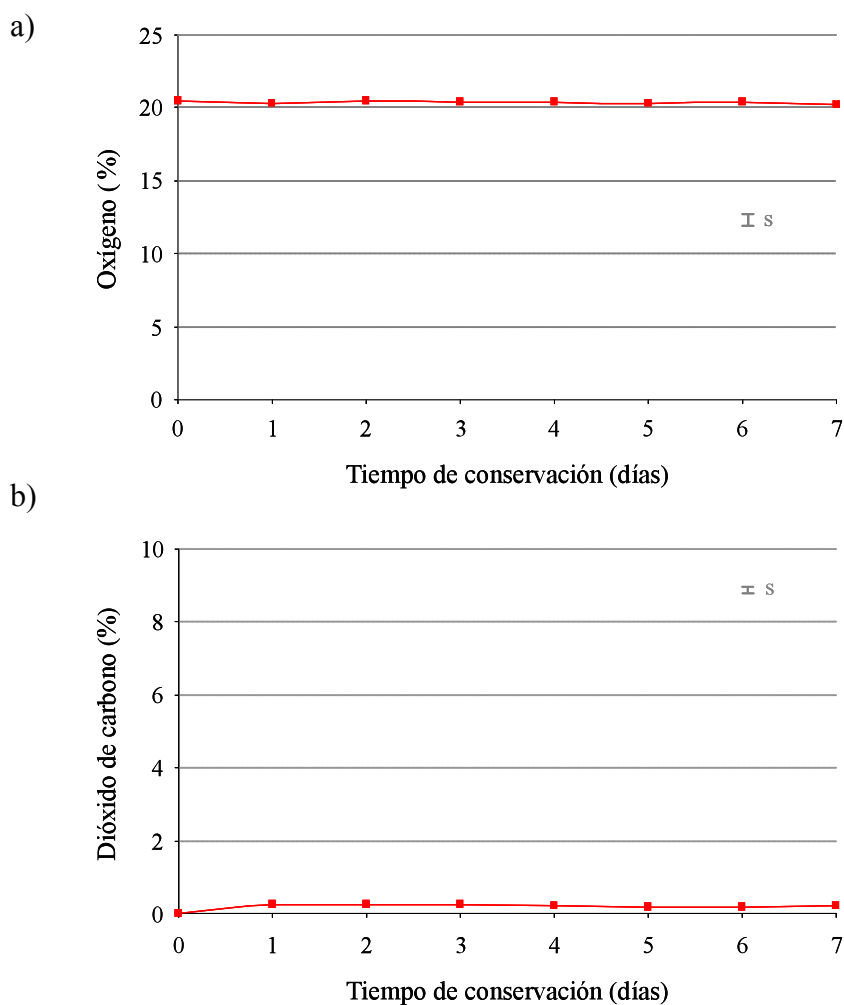


Figura 19. Composición en: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) acumulado en el interior de las barquetas de yuca transportada por vía aérea procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C .

En el interior de las barquetas se produjo un ligero incremento del volumen de etileno a lo largo del periodo de conservación, alcanzando valores de $0,11 \pm 0,06 \mu\text{l}$ el último día de conservación (Figura 20).

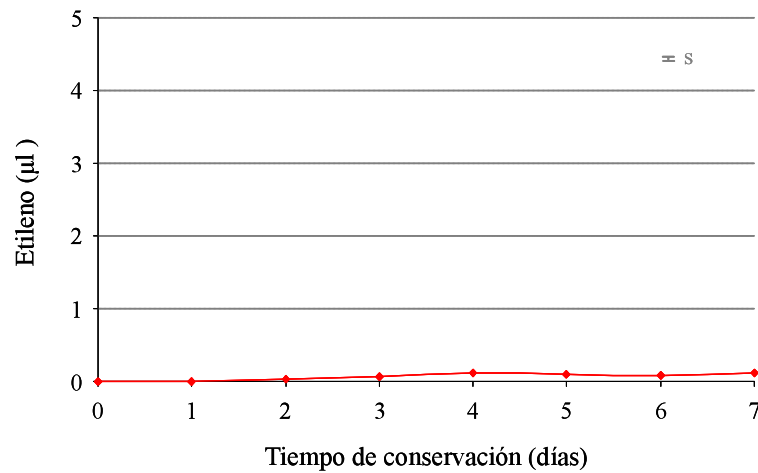


Figura 20. Acumulación de etileno (μl) en el interior de las barquetas de yuca transportada por vía aérea procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C .

La pérdida de peso de los trozos de yuca a lo largo del periodo de conservación no se hizo significativa hasta el quinto día. Aún así, dicha pérdida de peso fue muy baja, siendo el último día de conservación de $0,054 \pm 0,028\%$ (Figura 21).

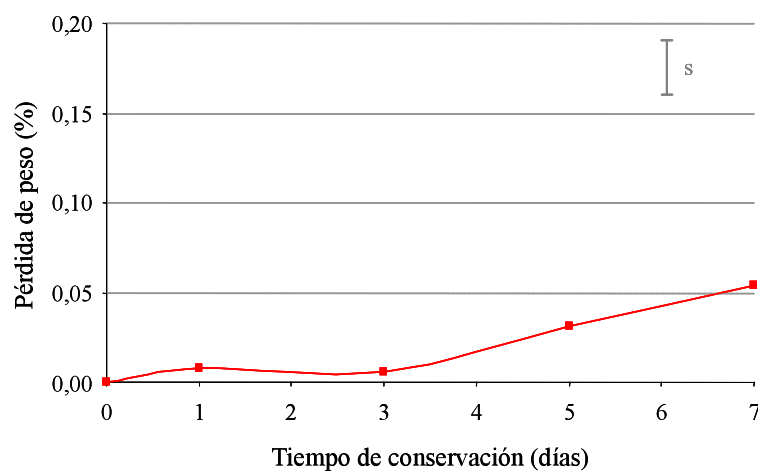


Figura 21. Pérdida de peso (%) de yuca transportada por vía aérea procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C .

Además, el último día de conservación los trozos de yuca procesados presentaron deshidratación superficial en la zona interna del parénquima que proporcionaba a la superficie un aspecto blanco como de tiza. En general, los tubérculos procesados mínimamente, sufren una pérdida de peso muy baja durante el periodo de conservación. Carrasco y Cisneros-Zevallos (2002) observaron que en zanahorias mínimamente procesadas, al séptimo día de conservación, la pérdida de peso fue inferior al 0,1%, lo que concuerda con los resultados obtenidos en yuca mínimamente procesada en el presente estudio. Del Águila *et al.* (2006) indicaron que tras conservar rábanos mínimamente procesados durante diez días a 5°C la pérdida de peso no superaba el 4%.

En la **Figura 22a** se observa que la luminosidad de la yuca mínimamente procesada se mantuvo prácticamente constante durante la conservación a 5°C. Del Águila *et al.* (2006) procesaron rábanos mínimamente y observaron que la luminosidad de los rábanos cortados en tiras y conservados a 5°C descendió ligeramente durante los diez días de conservación. García y Pacheco-Delahaye (2007) señalaron que al procesar tubérculos de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) y conservarlos durante catorce días a 10 °C, la luminosidad disminuyó.

El índice de blanqueamiento de los trozos de yuca se mantuvo constante durante los tres primeros días de conservación (82 ± 1). Al quinto día este parámetro disminuyó de forma muy suave manteniéndose posteriormente constante hasta el último día de conservación, en el que alcanzó valores de 81 ± 1 (**Figura 22b**).

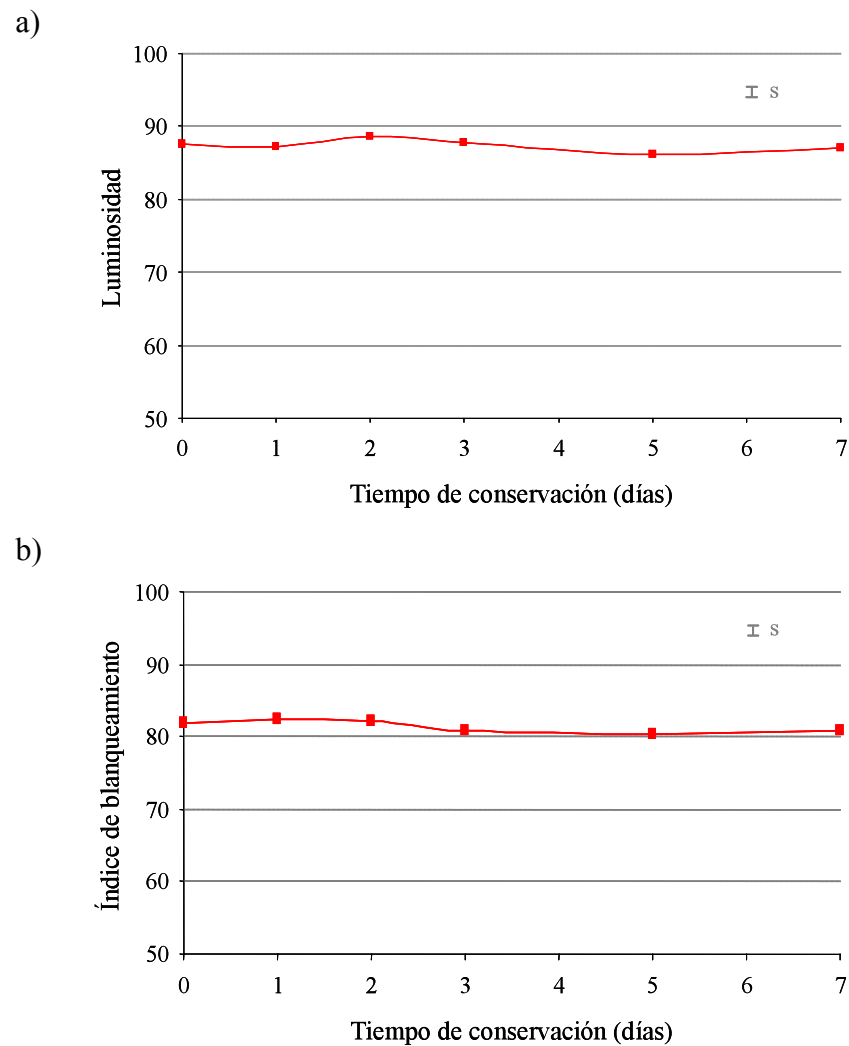


Figura 22. Luminosidad (a) e índice de blanqueamiento (b) de trozos de yuca transportada por vía aérea procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

El color de los trozos de yuca se modificó durante las primeras 24 horas después del procesado de la yuca (Figura 23), manteniéndose constante hasta el último día de conservación ($2,1 \pm 0,7$). Silva *et al.* (2003) procesaron yuca mínimamente, la envasaron en bolsas semipermeables en aire y las conservaron a 10°C y observaron que a los siete días de conservación la modificación del color era inferior a 5. Además, cuando conservaron la yuca a 25°C, al tercer día de

conservación los tubérculos fueron descartados debido a la alta incidencia de estriado vascular y a la modificación sufrida en el color (ΔE por encima de 10).

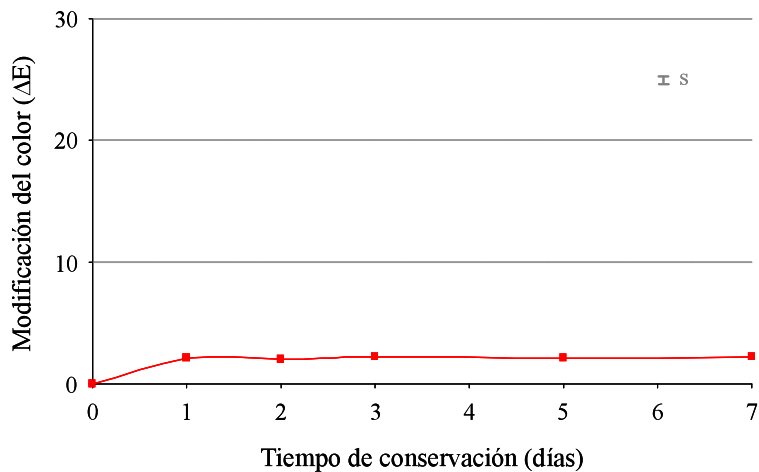


Figura 23. Modificación del color de trozos de yuca transportada por vía aérea procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

La firmeza de los trozos de yuca sufrió un incremento significativo durante el periodo de conservación a 5°C. Así, el primer día de conservación la firmeza fue de 43 ± 3 N y entre el quinto y séptimo día fue de 48 ± 2 N. El incremento de la firmeza puede deberse a que a lo largo del periodo de conservación se produce una pérdida de agua en los trozos de yuca que hace que los tejidos del parénquima pierdan elasticidad por lo que aumenta la resistencia del producto a ser penetrado y en consecuencia aumenta la firmeza. En cambio Ayhan *et al.* (2008) observaron que en zanahorias mínimamente procesadas y conservadas en una atmósfera de aire no se produjo un incremento significativo de la firmeza durante los siete primeros días de conservación. Sin embargo, transcurridos 21 días, desde el momento del procesado, la pérdida de firmeza era evidente.

4.2.2. Efecto del tipo de raíz sobre la aptitud de la yuca al procesado mínimo

Dado que la planta de yuca da lugar durante su crecimiento a dos tipos de raíces, primarias y secundarias, se procesaron, por separado con el fin de establecer qué aptitud presentaba cada una al procesado mínimo.

Inicialmente se hizo una caracterización morfológica de los dos tipos de raíces. No se observaron diferencias significativas en la longitud del tubérculo entre los dos tipos de raíces (26 ± 6 cm). Sin embargo, la diferencia de grosor en ambos tipos de raíces fue evidente, como se observa en la Foto 15. Así, las raíces primarias presentaron un perímetro significativamente superior al de las raíces secundarias (20 ± 4 y 15 ± 2 cm, respectivamente).



Foto 15. Aspecto de la raíz de yuca primaria (izquierda) y secundaria (derecha).

También el peso medio de las raíces primarias fue significativamente superior al de las secundarias: 513 ± 205 y 320 ± 103 g, respectivamente. Esto se debe a que aunque las raíces primarias, tienen la misma longitud que las secundarias, son más gruesas siendo el acúmulo de nutrientes en la raíz considerablemente mayor.

En el procesado mínimo de los productos hortofrutícolas el porcentaje de residuos que se producen puede oscilar entre el 20% y el 60%. En el caso de la

yuca mínimamente procesada el porcentaje de pulpa procesable fue significativamente superior para las raíces primarias ($72 \pm 2\%$) que para las secundarias ($68 \pm 5\%$). Sin embargo, el rendimiento de la operación de pelado fue el mismo para ambos tipos de raíces, $3,7 \pm 1,4$ min/kg yuca.

El estriado vascular es el deterioro más importante durante la postcosecha de yuca. En el momento del procesado el 42% de las yucas enteras procedentes de raíces primarias y el 35% de las procedentes de raíces secundarias presentaron estriado vascular. Hay que señalar que, mientras que la severidad del deterioro fue más uniforme en los tubérculos cortados procedentes de raíces primarias ($7,5 \pm 9,9\%$), en los procedentes de las secundarias en el 70% de las yucas fue inferior al 2%. Una vez que se eliminaron aquellas yucas que presentaban un estriado vascular severo, se procesó la yuca. Tres días después del corte el 13% de las barquetas con trozos procedentes de raíces primarias y el 25% de las secundarias presentaron vascularización. Al séptimo día de conservación a 5°C el 48% de barquetas con trozos de raíces primarias y el 60% de las que contenían trozos de raíces secundarias presentaron este desorden fisiológico. En la **Foto 16** se observa el estriado vascular de los trozos de yuca de raíces primarias y secundarias a los siete días de conservación.



Foto 16. Estriado vascular de trozos de yuca procedente de raíces primarias (izquierda) y secundarias (derecha) procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C .

La tasa respiratoria de las raíces secundarias enteras (antes del procesado) fue entre 2,2 y 3,3 veces superior a la de las raíces primarias enteras. Sin embargo, la producción de dióxido de carbono fue semejante en los trozos recién procesados procedentes de las raíces primarias y secundarias. Además, en función de los resultados obtenidos en la determinación de la tasa respiratoria de los tubérculos cinco horas después del corte, se puede afirmar que el proceso de pelado y corte no provocó un estrés fisiológico del tubérculo en este tiempo. No se detectó producción de etileno en el producto entero ni en los trozos de yuca procesados.

La composición de la atmósfera en el interior de las barquetas apenas se modificó durante la conservación a 5°C (Figuras 24a y 24b). Además, la concentración de oxígeno y de dióxido de carbono en el interior de los envases fue similar entre los trozos de raíces primarias y secundarias, para cada día de conservación.

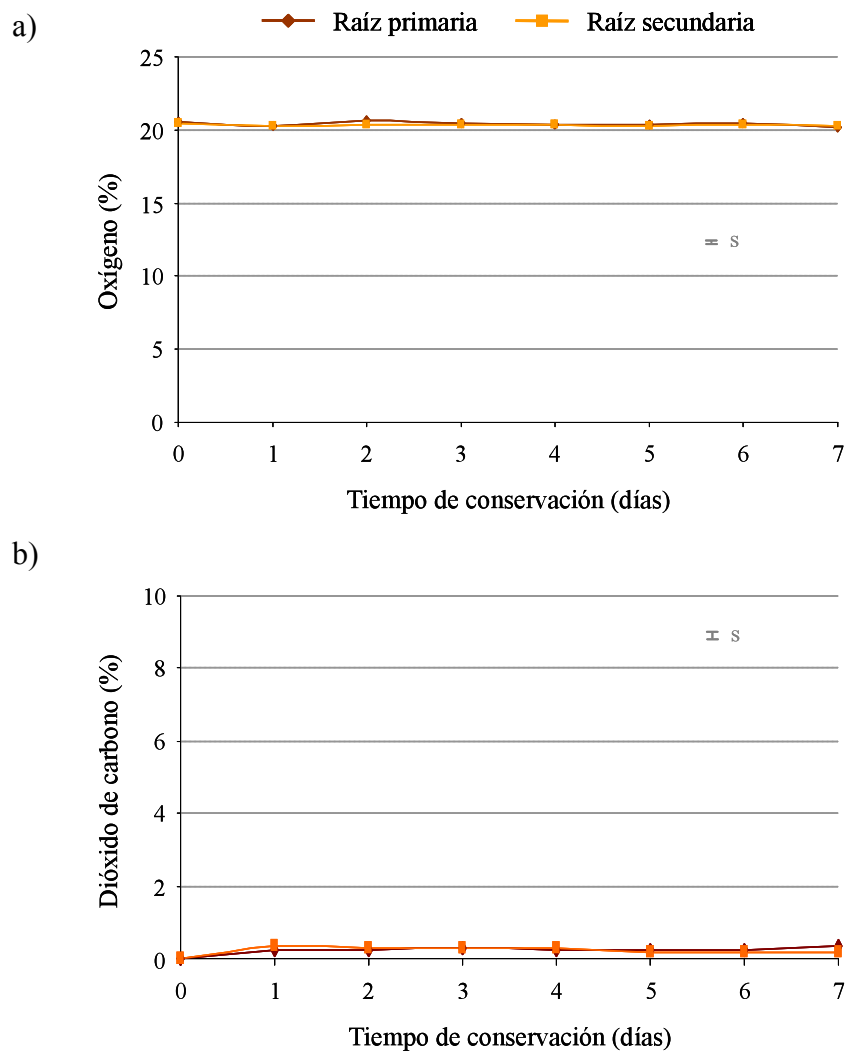


Figura 24. Composición en: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) acumulado en el interior de las barquetas de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

La acumulación de etileno en los envases de los trozos de yuca procedentes de las raíces primarias y secundarias fue muy baja y similar en ambos tipos de raíces durante la conservación (Figura 25), alcanzando, al final de ésta, un valor de $(0,11 \pm 0,06 \mu\text{l})$.

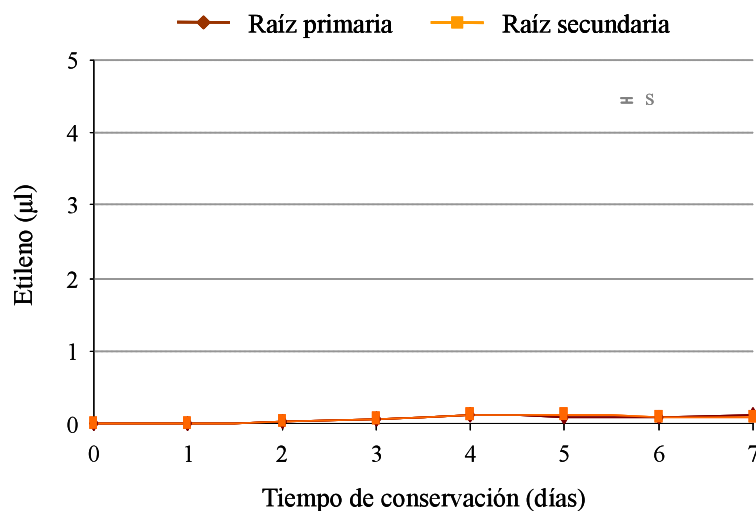


Figura 25. Acumulación de etileno (μl) en el interior de las barquetas de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C .

Independientemente de que las barquetas contuvieran trozos procedentes de raíces primarias o secundarias, se produjo una disminución de peso muy pequeña durante la conservación. Así, a los siete días de conservación a 5°C la pérdida de peso de las raíces fue del $0,047 \pm 0,032\%$, independientemente de que los trozos fueran de raíces primarias o secundarias.

La luminosidad de los trozos de yuca (Figura 26a) procedentes de raíces primarias y de raíces secundarias se mantuvo prácticamente constante durante la conservación presentando, ambos tipos de raíces, a los siete días de conservación los mismos valores de luminosidad que en el inicio de la conservación. Sin embargo, al final de la conservación a 5°C los trozos procedentes de raíces primarias presentaron una luminosidad ligeramente superior a la de los trozos de raíces secundarias (88 ± 1 y 86 ± 1 , respectivamente).

De igual forma que en la luminosidad, tal y como muestra la Figura 26b, las modificaciones del índice de blanqueamiento durante la conservación fueron mínimas. Mientras que este parámetro no se modificó en los trozos de raíces secundarias (81 ± 1), en los procedentes de las raíces primarias se produjo un

ligero descenso al tercer día de conservación (de 83 ± 1 a 81 ± 1) que prácticamente se mantuvo hasta el final de la conservación. Durante los tres primeros días de conservación, el índice de blanqueamiento fue ligeramente mayor (aproximadamente dos unidades) en los trozos procedentes de raíces primarias que en los de raíces secundarias. A partir de ese momento el índice de blanqueamiento, prácticamente se igualó.

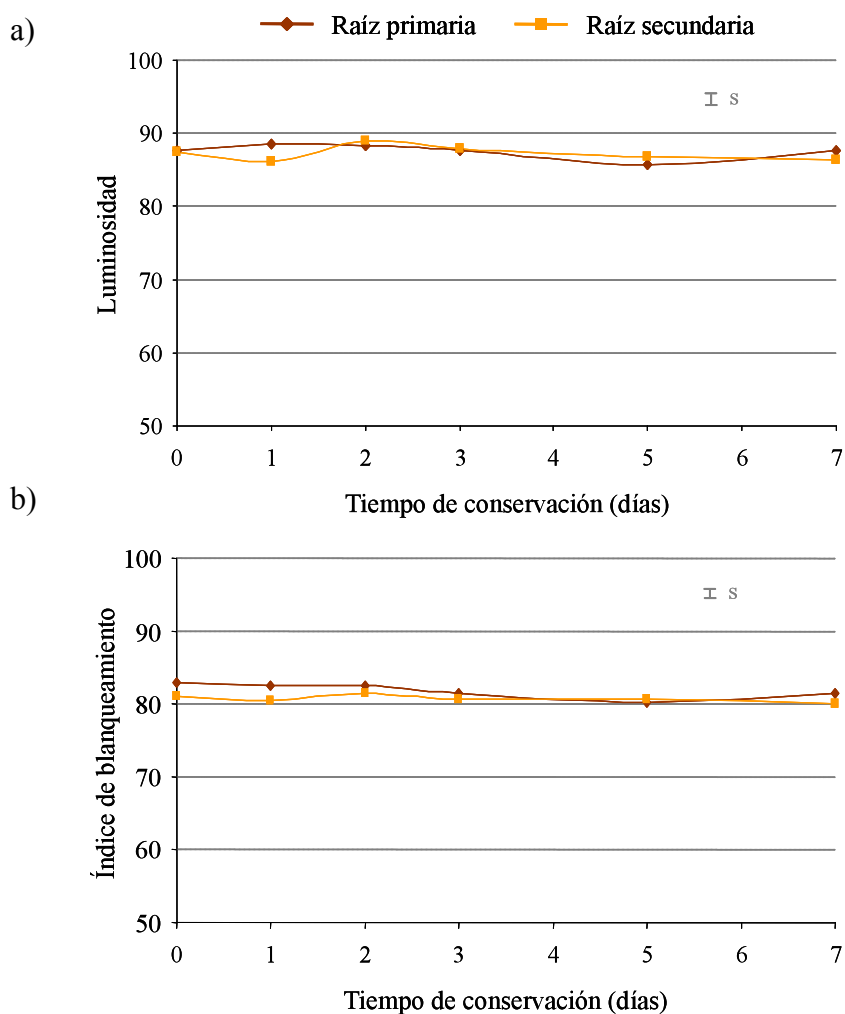


Figura 26. Luminosidad (a) e índice de blanqueamiento (b) de trozos de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

En ambos tipos de raíces el color se modificó de forma significativa desde el momento del corte hasta el primer día de conservación sufriendo a continuación

un ligero aumento hasta el final de la conservación. Como se observa en la [Figura 27](#), la modificación del color fue igual en los trozos de ambos tipos de raíces durante la conservación salvo al séptimo día ($2,6 \pm 0,7$ para raíces primarias y $1,7 \pm 0,8$ para las secundarias).

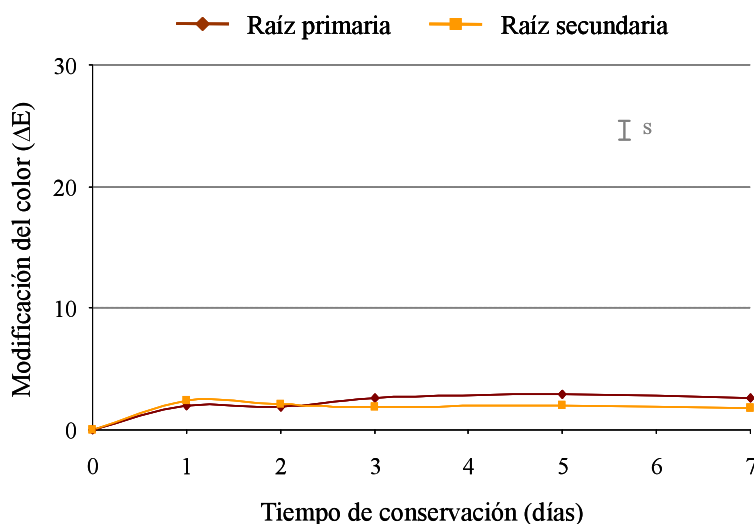


Figura 27. Modificación del color de trozos de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

Las raíces primarias y secundarias presentaron la misma actividad peroxidasa durante los siete días de conservación. En ambos tipos de raíces se produjo un incremento significativo de la actividad, presentando en el momento del procesado una actividad media de 153 ± 11 y al séptimo día de 198 ± 13 $\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca. La actividad de la enzima polifenoloxidasas [Figura 28](#) durante el primer día fue significativamente superior en los trozos procedentes de raíces secundarias que en las primarias ($7,5 \pm 1,1$ y $5,7 \pm 1,4$ $\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca, respectivamente). A partir de ese momento se igualaron hasta el último día de conservación. En los trozos de yuca procedentes de raíces primarias la actividad se mantuvo constante durante la conservación, excepto el primer día, que se produjo un ligero descenso, sin embargo, en los que procedían de raíces secundarias se produjo una disminución significativa el primer día de

conservación de un 25% y, a partir de ese momento, la actividad se mantuvo constante hasta el último día de conservación.

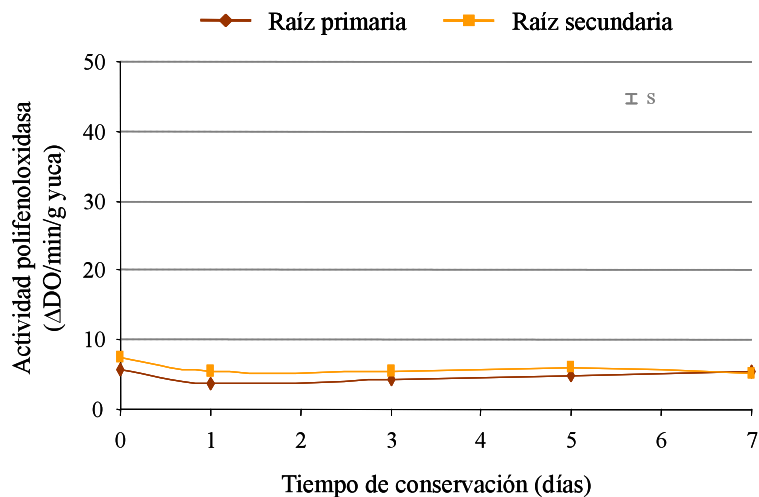


Figura 28. Actividad de la enzima polifenoloxidasasa ($\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$) de trozos de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

Los trozos de yuca procedentes de raíces primarias mostraron al segundo día de conservación una ligera pérdida de la firmeza (Figura 29) de un 9% que se mantuvo hasta el tercer día.

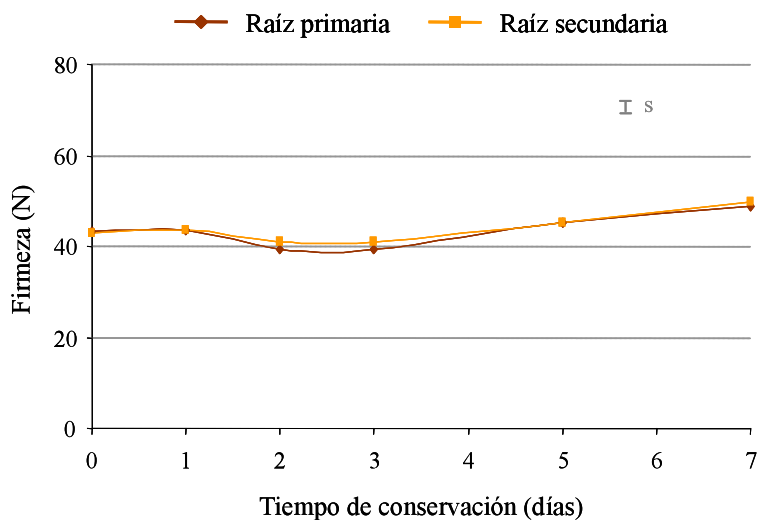


Figura 29. Firmeza (N) de trozos de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

En cambio, en los trozos de raíces secundarias, dicha disminución no fue significativa. En ambos tipos de raíces, a partir del quinto día después del procesado de la yuca se produjo un ligero incremento de la firmeza que se mantuvo hasta el séptimo día de almacenamiento desde 43 ± 2 N (inicial) hasta 49 ± 1 N o 50 ± 1 N en las raíces primarias o secundarias, respectivamente.

El contenido en sólidos solubles totales fue similar en los dos tipos de raíces durante el periodo de conservación. En los trozos procedentes de raíces primarias se mantuvo constante durante los siete días de conservación con un contenido medio de $4,7 \pm 0,3^{\circ}\text{Brix}$. Sin embargo, en los trozos de raíces secundarias aumentó ligeramente, siendo el contenido en sólidos solubles totales en el momento del procesado $4,0 \pm 0,1^{\circ}\text{Brix}$ y a los siete días de conservación $4,8 \pm 0,1^{\circ}\text{Brix}$. En cuanto al pH y la acidez titulable no se observaron diferencias significativas entre raíces primarias y secundarias y además se mantuvo constante en los dos tipos de raíces durante el periodo de conservación siendo el pH medio de $5,9 \pm 0,1$ y la acidez titulable $2,4 \pm 0,3$ mg ácido cianhídrico/100 g yuca. Dichos resultados difieren de los obtenidos por Bezerra *et al.* (2002a) cuando observaron en yuca mínimamente procesada un incremento del pH durante la primera semana de conservación a 8°C , sin embargo a partir de ese día, hasta los 18 días de conservación, disminuyó dicho parámetro. Por otro lado, observaron un incremento de la acidez durante el periodo de conservación.

Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria es de vital importancia conocer si la concentración de glucósidos cianogénicos en este tubérculo es segura para el consumo humano. En la [Figura 30](#) se observa que el contenido en glucósidos cianogénicos fue similar para los dos tipos de raíces salvo el tercer día en el que los trozos procedentes de raíces primarias presentaron mayor contenido que las secundarias. Los trozos de raíces secundarias mantuvieron constante el contenido de glucósidos cianogénicos durante los siete días de conservación, con unos valores medios de 101 ± 43 mg/kg yuca. En las raíces primarias el contenido

en glucósidos cianogénicos osciló entre 91 ± 19 y 105 ± 16 mg/kg yuca en el primer y último día de conservación, respectivamente. La concentración de glucósidos cianogénicos de las raíces de yuca entra en el intervalo en el que se considera seguro el consumo de estas raíces.

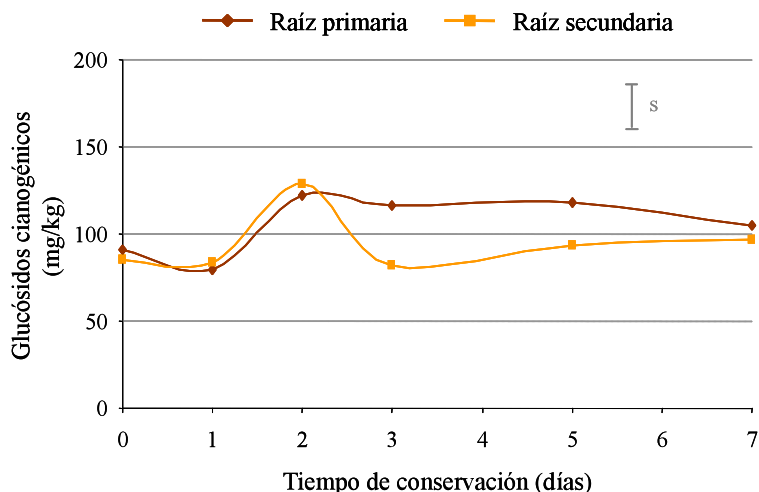


Figura 30. Contenido en glucósidos cianogénicos (mg/kg yuca) de trozos de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

Como puede observarse en las Figuras 31a y 31b los catadores detectaron tanto en los trozos de las raíces primarias como en los de las secundarias una disminución de la aceptabilidad del aspecto general y del color, pero que sólo fue significativo a los siete días de conservación. Para cada día de análisis los catadores no detectaron diferencias ni en el aspecto general ni en el color de los trozos de raíces primarias o secundarias. El factor que más influye en el aspecto general de la yuca es el color del parénquima, por tanto, estos parámetros están directamente relacionados, provocando que los catadores valoren el aspecto general y el color de los trozos de yuca de manera similar.

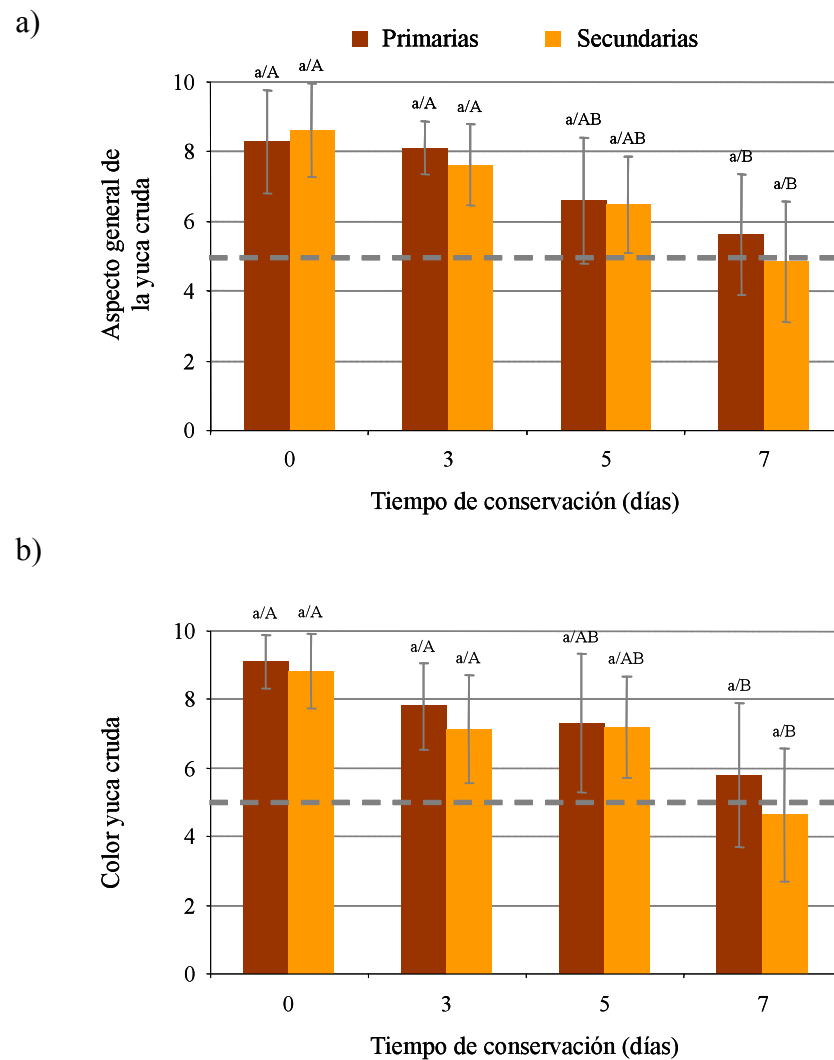


Figura 31. Aspecto general (a) y color (b) de trozos de yuca procedente de raíces primarias y secundarias procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tipos de raíces o entre días de conservación, respectivamente. La línea negra horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Mientras que a los cinco días del procesado el 100% de los catadores comprarían las barquetas con trozos de raíces primarias, el 75% comprarían las de trozos con raíces secundarias. Al final de la conservación (siete días) el 83% comprarían las que contenían raíces primarias y un menor porcentaje, el 50%, las que contenían raíces secundarias.

Una vez evaluado el producto en crudo, el panel de catadores valoró el aspecto general, el color y el sabor de los trozos cocinados. Los catadores no detectaron diferencias en dichos parámetros entre los trozos de yuca procedentes de ambos tipos de raíces durante la conservación (Figuras 32a, 32b y 32c). Sin embargo, sí que describieron una pérdida de aceptabilidad del aspecto general de la yuca cocinada a los cinco días de conservación en los trozos de raíces primarias y al séptimo día en las secundarias. Además, mientras en los trozos de raíces primarias la aceptabilidad del color de la yuca cocinada se mantuvo durante todos los días después del corte, en los trozos procedentes de raíces secundarias disminuyó al séptimo día. El sabor de la yuca sólo fue evaluado por debajo del límite de aceptabilidad (5,0) a los siete días de conservación, tanto en las raíces primarias como en las secundarias.

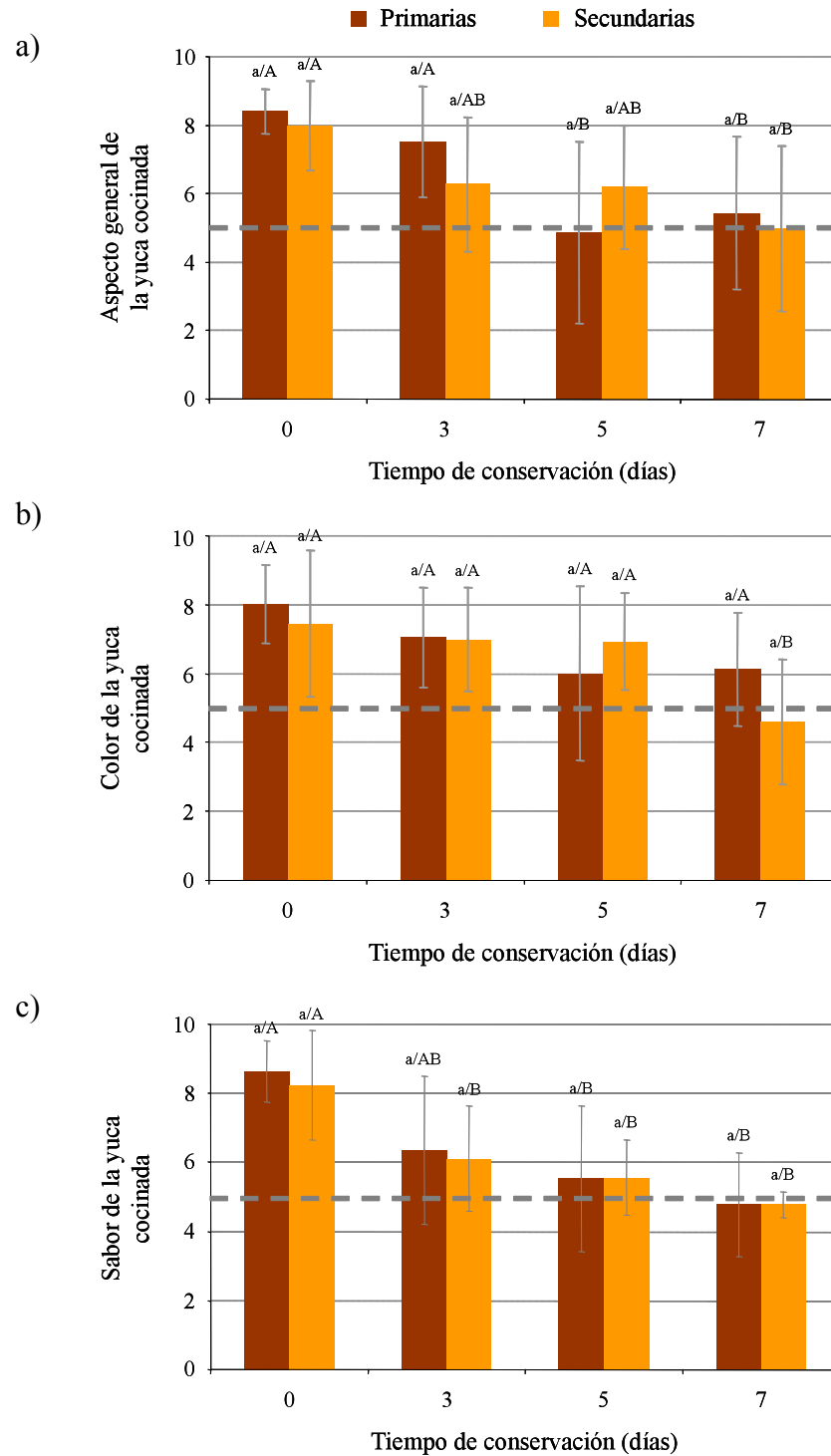


Figura 32. Aspecto general (a), color (b) y sabor (c) de trozos de yuca procedente de raíces primarias y secundarias cocinada conservada durante siete días a 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tipos de raíces o entre días de conservación, respectivamente. La línea negra horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

El 13% de catadores detectó la aparición de sabores extraños a los tres días de conservación en los trozos de yuca cocinados tanto de raíces primarias como secundarias. Sin embargo, mientras que en los trozos de raíces secundarias los catadores no volvieron a detectar dichos sabores extraños a los cinco y siete días de conservación, sí lo hicieron en los trozos de raíces primarias cocinadas (25 y 13% respectivamente).

Mientras que a los cinco días del procesado el 50% de los catadores comprarían la yuca cocinada procedente de raíces primarias y secundarias, a los siete días el 63% comprarían las procedentes de raíces primarias y un menor porcentaje (38%) las secundarias.

En ninguno de los parámetros de calidad evaluados se detectaron diferencias importantes entre los dos tipos de raíces, por lo tanto, se determinó que los dos tipos de raíces presentan una buena aptitud para el procesado mínimo.

4.2.3. Efecto del tipo de terreno sobre la calidad de la yuca procesada mínimamente

El terreno de cultivo puede afectar a la textura, en términos de fibrosidad, forma y desarrollo de algunos tubérculos. Por ejemplo, la batata se adapta bien a diferentes tipos de terrenos pero se desarrolla mejor en terrenos arcillosos (Machin y Hardisson, 2002; Vásquez-Martínez y León-Velarde, 2006). Además, la textura y grado de compactación del terreno son algunos de los factores que afectan a la incidencia de daños mecánicos en las raíces (Reina *et al.*, 1996). Mondy y Mushi (1993) observaron que las diferentes prácticas agronómicas aplicadas en la producción de papas pueden ayudar a superar los problemas de pardeamiento que pueden manifestarse durante la postcosecha. El terreno en el que se cultiva la yuca utilizada en los ensayos de esta Tesis Doctoral presenta zonas arcillosas y pedregosas. Así, se procesó yuca procedente de ambos tipos de terreno con el fin de establecer su aptitud al procesado y si el panel de catadores era capaz de diferenciarlas en términos de fibrosidad nada más ser procesadas o durante la conservación.

En relación a las características morfológicas de los tubérculos, no se observaron diferencias significativas en la longitud y el perímetro del tubérculo independientemente del tipo de terreno en el que se cultivó la yuca (26 ± 7 cm y 17 ± 4 cm, respectivamente). Sin embargo, el peso de las raíces cultivadas en terreno pedregoso fue superior al de las cultivadas en terreno arcilloso: 559 ± 204 y 306 ± 76 g, respectivamente.

El tipo de terreno de cultivo no influyó de manera significativa ni en el porcentaje de pulpa procesable ni en el tiempo de pelado de la yuca. Así, el porcentaje de pulpa procesable en las raíces cultivadas en los dos tipos de terreno fue similar, en torno al $71 \pm 3\%$. Tampoco se observaron diferencias significativas en el tiempo de pelado empleado ($3,9 \pm 1,4$ min/kg yuca).

En el momento del procesado el 27% y el 64% de las yucas procedentes de terreno pedregoso y arcilloso, respectivamente, presentaron estriado vascular. Una vez que se desecharon los trozos de tubérculos que no presentaron estriado vascular, se procedió al pelado y corte de la yuca. Durante el periodo de conservación el estriado vascular aumentó en los trozos procedentes de los dos tipos de cultivo, de tal manera que, al tercer día de conservación, aproximadamente el 15% de las barquetas presentaron estriado vascular. Sin embargo, siete días después del procesado de la yuca el porcentaje de barquetas con trozos que presentaron estriado se incrementó, siendo para las del terreno pedregoso un 54% y para las del arcilloso un 97%. En la **Foto 17** se observa el aspecto de los trozos de yuca cultivada en terreno pedregoso y arcilloso a los siete días de conservación a 5°C. Por tanto, se observó que, al final de la conservación, el porcentaje de barquetas que presentaron trozos con vascularización fue menor en el terreno pedregoso.

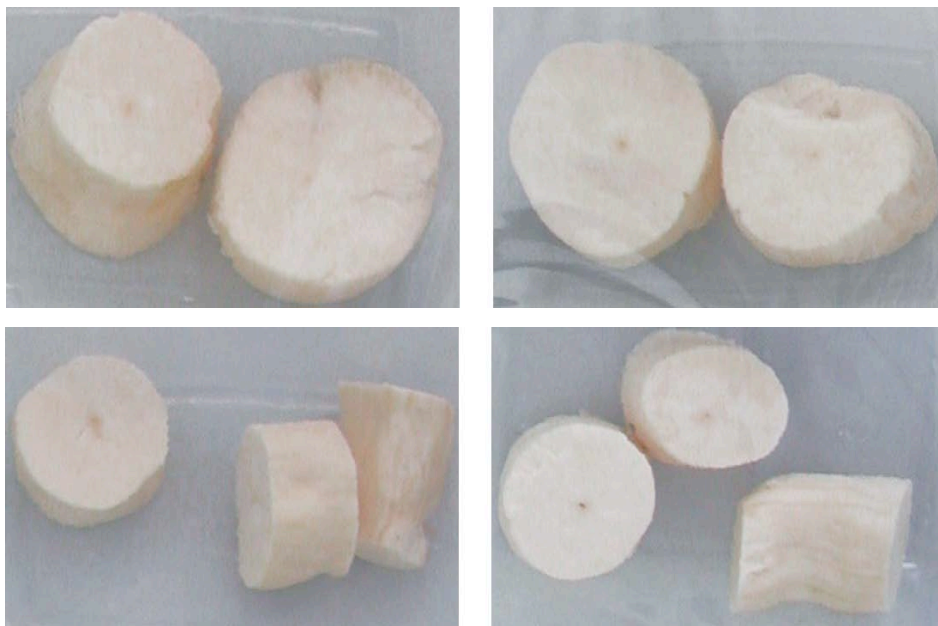


Foto 17. Aspecto de los trozos de yuca procedente de terreno pedregoso (arriba) y arcilloso (abajo) procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

La tasa respiratoria del tubérculo entero y de los trozos no varió entre los dos tipos de terreno, manteniéndose constante durante las cinco horas después del procesado de la yuca ($9,5 \pm 6,3$ y $5,7 \pm 1,9$ ml CO₂/kg*h, respectivamente). En el momento del procesado la tasa respiratoria fue similar para el producto entero y procesado, independientemente del tipo de terreno en el que fue cultivado el tubérculo. No se detectó producción de etileno durante las cinco horas después del corte de la yuca, ni en el producto entero ni en los trozos procedentes de ambos tipos de terreno.

El contenido en oxígeno y en dióxido de carbono de los envases apenas sufrió modificaciones durante la conservación de la yuca mínimamente procesada. Tampoco existieron diferencias resaltables en dicha atmósfera en función del tipo de terreno en el que había sido cultivada la yuca (Figuras 33a y 33b).

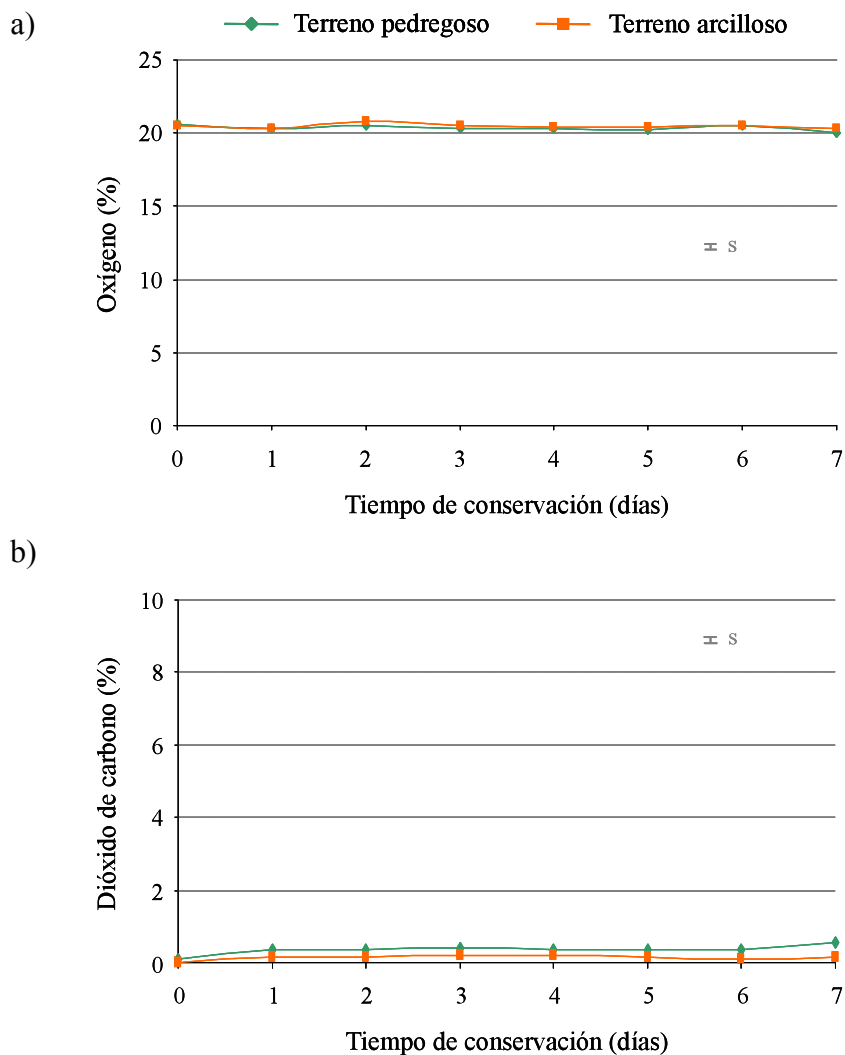


Figura 33. Composición en: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) acumulado en el interior de las barquetas de yuca procedente de terreno pedregoso y arcilloso procesada mínimamente conservada durante siete días 5°C.

La acumulación de etileno en los envases de los trozos de yuca procedentes de terreno pedregoso y arcilloso fue muy baja y similar en ambos tipos de terreno durante la conservación (Figura 34), alcanzando, al final de ésta, un valor de (0,16 ± 0,11 µl).

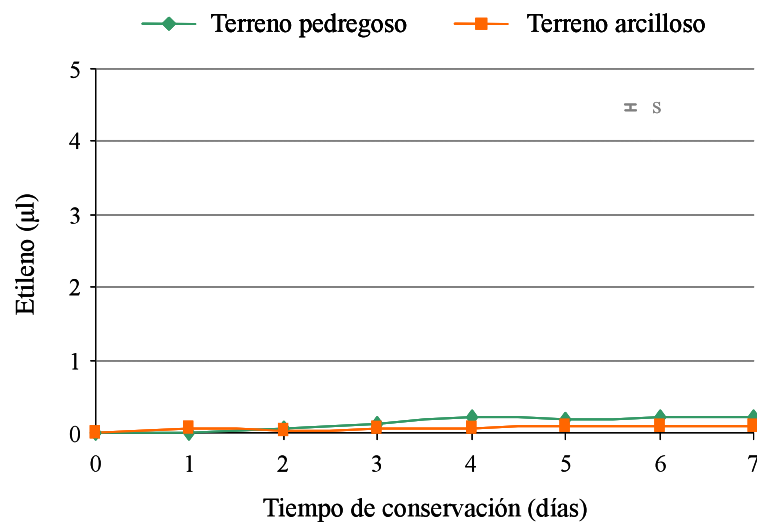


Figura 34. Acumulación de etileno (μl) en el interior de las barquetas de yuca procedente de terreno pedregoso y arcilloso procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C .

La pérdida de peso fue muy pequeña y similar en los dos tratamientos. Así, la pérdida de peso el último día respecto al día inicial no superó el 0,10%.

La luminosidad de los trozos de yuca fue similar para los dos tipos de terreno en los que fue cultivada la yuca, excepto un día después del corte en el que los trozos procedentes del terreno pedregoso presentaron mayor luminosidad. Sin embargo, al séptimo día de conservación fueron los trozos procedentes del terreno arcilloso los que presentaron mayor luminosidad (Figura 35a). Además, en los trozos de yuca procedentes del terreno pedregoso, la luminosidad se mantuvo constante durante los primeros cinco días después del corte, con valores medios de 88 ± 1 para luego descender el séptimo día hasta 86 ± 1 . En cambio, en los trozos de yuca procedentes del terreno arcilloso, se produjo un descenso el primer día de conservación para luego mantenerse constante.

El índice de blanqueamiento fue significativamente superior en los trozos procedentes del terreno pedregoso durante los primeros cinco días de conservación. En cambio, el séptimo día se observó que los trozos del terreno arcilloso presentaron un índice de blanqueamiento mayor que el de los pedregosos

(Figura 35b). En las yucas cultivadas en el terreno arcilloso el índice se mantuvo constante durante los siete días de conservación (81 ± 1); sin embargo, en los trozos del terreno pedregoso se mantuvo constante durante los tres primeros días de conservación (83 ± 1) para luego descender hasta el último día (80 ± 1).

Independientemente del terreno en el que fue cultivada la yuca, en los trozos del tubérculo se produjo una modificación significativa del color durante el periodo de conservación (Figura 35c). Este incremento fue similar en los dos tipos de terreno durante los tres primeros días de conservación, con un valor medio de $2,1 \pm 0,7$. Sin embargo, el quinto y séptimo día de conservación el incremento fue superior en los trozos del terreno pedregoso ($2,9 \pm 1,2$) que en los del terreno arcilloso ($1,5 \pm 1,0$).

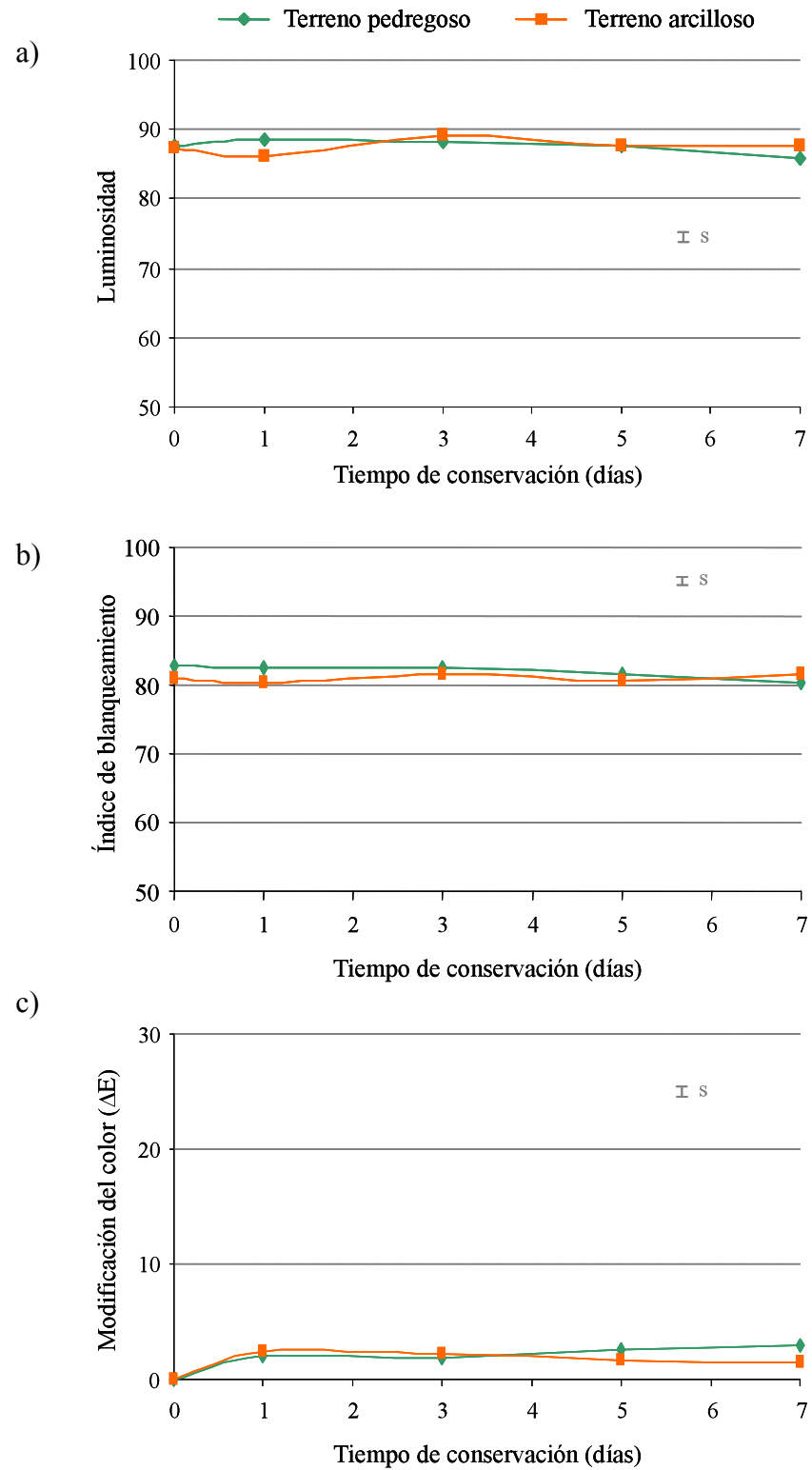


Figura 35. Luminosidad (a), índice de blanqueamiento (b) y modificación del color (c) de trozos de yuca procedente de terreno pedregoso y arcilloso procesada mínimamente y conservada durante siete días a 5°C.

Durante el periodo de conservación no se observaron diferencias significativas en la actividad de la enzima peroxidasa entre los trozos de yuca procedentes de los dos tipos de terreno, aunque en ambos se produjo un ligero incremento significativo de la actividad de esta enzima durante la conservación, desde $180 \pm 14 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca en el momento del corte hasta $198 \pm 13 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca después de siete días de conservación a 5°C . De igual manera que para la actividad peroxidasa, en el momento del procesado la actividad de la enzima polifenoloxidasas fue semejante para los dos tipos de terreno, $1,6 \pm 0,7 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca. En la yuca cultivada en ambos tipos de terreno se produjo un incremento significativo de la actividad durante la conservación a 5°C , siendo la actividad media el último día de $5,3 \pm 1,7 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca.

Durante los tres primeros días de conservación la firmeza fue similar en los dos tipos de terreno; en cambio, a partir del quinto día hasta el séptimo día los trozos de yuca que fueron cultivados en terreno pedregoso presentaron una firmeza superior a los del terreno arcilloso. La firmeza de los trozos del terreno pedregoso aumentó significativamente durante la conservación; así, en el momento del procesado la firmeza fue de $43 \pm 2 \text{ N}$ y el último día fue de $48 \pm 1 \text{ N}$. Sin embargo, en los trozos del terreno arcilloso ocurrió al contrario, observándose una ligera disminución de la firmeza desde $43 \pm 1 \text{ N}$, recién procesada la yuca, hasta $40 \pm 1 \text{ N}$ el último día de conservación.

En cuanto al contenido en glucósidos cianogénicos, no se observaron diferencias significativas entre los tubérculos de los dos tipos de terrenos evaluados, siendo el contenido de $102 \pm 32 \text{ mg}/\text{kg}$ yuca. Además, la concentración de estos compuestos cianogénicos se mantuvo constante a lo largo del periodo de conservación, independientemente del tipo de terreno en el que había sido cultivada la yuca.

Para el análisis sensorial se llevó a cabo una prueba triangular discriminativa, en la que el panel de catadores describió la presencia o ausencia de

diferencias en el aspecto general y el color de los trozos procedentes de ambos tipos de terreno. En dicha prueba, los catadores no fueron capaces de encontrar diferencias entre los trozos de yuca crudos recién procesados procedentes de ambos tipos de terreno. Sin embargo, a los tres días el 78% de los catadores señalaron que los trozos de yuca cultivados en el terreno arcilloso presentaron mayor cantidad de estriado vascular que los trozos cultivados en el terreno pedregoso. A partir del quinto día y hasta el último día de conservación el 100% de los catadores encontraron diferencias evidentes entre los dos tipos de terreno en los que fue cultivada la yuca, detectando una mayor incidencia de estriado vascular en aquellos trozos que fueron cultivados en el terreno arcilloso. En cuanto al producto cocinado, los catadores realizaron la misma prueba triangular discriminativa que en el producto crudo. En este caso, los catadores debían señalar si observaban diferencias en el color, el sabor y la textura en los trozos procedentes de los dos tipos de terreno. No detectaron diferencias entre ellos, evaluándolos de manera similar durante la conservación.

Para concluir, existió mayor incidencia de estriado vascular en los trozos de yuca procedente del terreno arcilloso que en los del terreno pedregoso al final de la conservación como se evidenció mediante la evaluación visual y la evaluación sensorial llevada a cabo por los catadores. Sin embargo, en el resto de parámetros de calidad no existieron diferencias de calidad importantes en los tubérculos cultivados en los dos tipos de terreno. Por lo tanto, teniendo en cuenta este último aspecto y que las dimensiones del terreno pedregoso eran pequeñas y por tanto la producción de yuca escasa, se determinó que para poder llevar a cabo la optimización de las etapas del procesado mínimo que se describen a continuación se emplearían yucas procedentes de ambos tipos de terreno.

4.2.4. Efecto de la edad fisiológica del cultivo en la calidad de yuca procesada mínimamente

La cosecha de la yuca, según Coursey y Booth (1971), debe hacerse en la edad fisiológica óptima de la raíz. De esta manera se asegura un contenido relativamente alto en materia seca y mínimo en azúcares reductores, combinación que da lugar a un producto de buena calidad tras el cocinado (Haverkort *et al.*, 2002). Además, existen indicios de que la incidencia de estriado vascular es mayor a medida que envejece el cultivo (Hirose *et al.*, 1984a). La cosecha depende de distintos factores como son las condiciones edafoclimáticas, la variedad de yuca y el uso final del producto. Dependiendo del país donde se cultive, la cosecha se llevará a cabo entre los 8 y 12 meses después de la siembra. En Costa Rica, principal exportador de yuca a Europa, se recomienda realizar la cosecha a los 10 meses, que es cuando las raíces alcanzan el grado óptimo de exportación (raíces con 40 cm de largo y entre 8 y 10 cm de perímetro). En la isla de El Hierro la recolección de la yuca se realiza, normalmente, cuando el cultivo lleva desarrollándose de 12 a 18 meses. Por otra parte, mientras que para el consumo en fresco y como producto congelado, en Costa Rica, se recomienda que la cosecha sea entre los 9 y 12 meses (Vries, 1985), para la extracción de almidón y consumo animal se prefiere recolectar yucas de más edad fisiológica (15 meses) ya que así se favorece el alto rendimiento de almidón (Montaldo, 1985). Oliveira y Moraes (2009a) evaluaron la calidad físico-química y la productividad (kg yuca/raíz por planta) de las raíces de yuca de la variedad “IAC-576-70” de edades fisiológicas comprendidas entre los 6 y 12 meses. Observaron que en las raíces cosechadas después de 6 a 9 meses de la siembra la productividad de la raíz aumentó progresivamente; sin embargo, en el resto de edades fisiológicas de la raíz (desde los 10 hasta los 12 meses) la productividad de las mismas fue similar. Además, destacaron que en las raíces de menos edad fisiológica (de 6 a 8 meses) el contenido de almidón fue menor que en las de más edad (a partir de los 9

meses) y por tanto recomendaron que dicho cultivar podría ser recolectado transcurridos 9 meses de la siembra. Con el objetivo de conocer si existía una relación directa entre la edad fisiológica del cultivo y el desarrollo de estriado vascular en los tubérculos, se evaluó la aptitud al procesado mínimo de yuca de dos edades fisiológicas de cultivo: yuca que estuvo desarrollándose debajo de la tierra durante 11 meses y durante 18 meses.

Las características morfológicas de la yuca se vieron altamente influenciadas por la edad fisiológica de los tubérculos recolectados. A la hora de seleccionar la yuca en campo, algunos de los tubérculos del cultivo de 11 meses de edad fisiológica eran muy delgados y extremadamente largos por lo que se descartaron al no ser posible procesarlos mínimamente. Aún así, la longitud media de la yuca procedente del cultivo de 11 meses fue mayor (35 ± 8 cm) a la del cultivo de 18 meses que fue de 23 ± 5 cm. En cambio, el perímetro de los tubérculos procedentes del cultivo de 18 meses fue superior (20 ± 3 cm) al del cultivo de menor edad fisiológica (16 ± 3 cm). En el cultivo cosechado transcurridos 11 meses desde la siembra, el tiempo hasta la recolección puede ser insuficiente para que se produzca el máximo acúmulo de nutrientes, como es el caso del almidón, lo que da lugar a tubérculos de menor engrosamiento tal y como se observa en la **Foto 18**. Además, los tubérculos presentaron pesos medios significativamente diferentes: 533 ± 181 g para el cultivo de 11 meses de edad fisiológica y 403 ± 95 g para el de 18 meses. Azevedo *et al.* (2008) evaluaron las propiedades físico-químicas de distintas variedades de yuca en dos edades de cultivo (13 y 16 meses de edad fisiológica), tanto en el tubérculo entero como en la harina panificable y observaron que los tubérculos que fueron cosechados después de 16 meses de cultivo, independientemente de la variedad, contenían mayor cantidad de almidón que los cosechados después de 13 meses de cultivo. Quintero (1984) observó, cuando estudió el comportamiento de dos variedades de yuca (“UCV-2221” y “UCV- 2078”) en cinco épocas de cosecha (6, 8, 10, 12 y 14 meses), diferencias

significativas en la composición y en el rendimiento de cada una de las edades de cultivo. El rendimiento en raíces de yuca para ambas variedades fueron mayores a los 10, 12 y 14 meses con 11, 15 y 20 toneladas por hectárea para la variedad “UCV-2221” y 15, 14 y 20 toneladas por hectárea para la variedad “UCV-2078”. En relación a la composición, “UCV-2221” presentó su máxima concentración de almidón (80%) a los 12 meses y sus concentraciones más bajas (entre 71 y 72%) a los 6 y 14 meses, en cambio la variedad “UCV-2078” tuvo su máximo porcentaje de almidón (86%) a los 12 meses y los más bajos (75%) a los 8 y 14 meses.



Foto 18. Aspecto de la raíz de yuca procedente del cultivo de 11 meses (izquierda) y de 18 meses de edad fisiológica (derecha).

El porcentaje de pulpa procesable en la yuca de las dos edades de cultivo estuvo en torno al $66 \pm 3\%$. Sin embargo, el tiempo empleado en el pelado de la yuca procedente del cultivo de más edad fisiológica (18 meses) fue mucho menor ($3,1 \pm 0,8$ min/kg) al tiempo empleado en la del cultivo de 11 meses ($6,5 \pm 1,3$ min/kg). Esta diferencia se debió a que la yuca del cultivo más joven tenía la corteza fuertemente adherida al parénquima, posiblemente debido a una mayor inmadurez fisiológica, lo que dificultaba la operación de pelado. Estos datos no concuerdan con los obtenidos por Oliveira y Moraes (2009b), ya que dichos autores señalaron que las raíces de yuca de la variedad “IAC 576-70” de menor edad fisiológica (entre 6 y 9 meses) fueron más fáciles de pelar que las de mayor

edad (10 y 11 meses); además, la de 12 meses de edad fisiológica fue la que presentó mayor dificultad para ser pelada.

El estriado o rallado vascular, principal deterioro fisiológico que se produce en la yuca, fue similar en la yuca recolectada 11 y 18 meses después de la siembra. En la Figuras 36a y 36b se muestra la evolución durante la conservación del porcentaje de barquetas y de trozos que presentaron vascularización, respectivamente. En ambos casos, la incidencia de este deterioro se manifestó dos días después del procesado y aumentó a medida que avanzó el periodo de conservación. Independientemente de la edad del cultivo, al séptimo día de conservación, prácticamente el 100 % de las barquetas y el 50% de los trozos de yuca presentaron vascularización. El porcentaje de vascularización (evaluado sólo teniendo en cuenta los trozos de yuca que presentaron este deterioro fisiológico) aumentó de forma continua a lo largo de la conservación para ambas edades de cultivo. Sin embargo, dicho porcentaje de vascularización fue ligeramente mayor en la yuca procedente del cultivo más joven (11 meses). Tal y como se muestra en la Figura 36c, la severidad de este deterioro fisiológico fue mayor (aproximadamente el doble) en la yuca del cultivo de 11 meses que en la del de 18 meses desde el tercer hasta el quinto día, si bien a partir del sexto día de conservación fue la misma. Según Marriot *et al.* (1978) la edad fisiológica a la cual se cosecha la yuca aparentemente no incide en el grado de severidad del estriado vascular. Ensayos preliminares llevados a cabo en el Laboratorio de Tecnología Postcosecha de la Universidad de Costa Rica corroboran lo descrito por Marriot *et al.* (1978), ya que el grado de deterioro de la yuca cosechada a los 8 meses fue similar a la cosechada entre los 11 y 12 meses (Fonseca y Saborío, 2001). Sin embargo, Hirose *et al.* (1984a) observaron un mayor deterioro fisiológico postcosecha en la yuca de la variedad “Golden Yellow” a medida que aumentó la edad fisiológica del cultivo (de 5 a 9 meses).

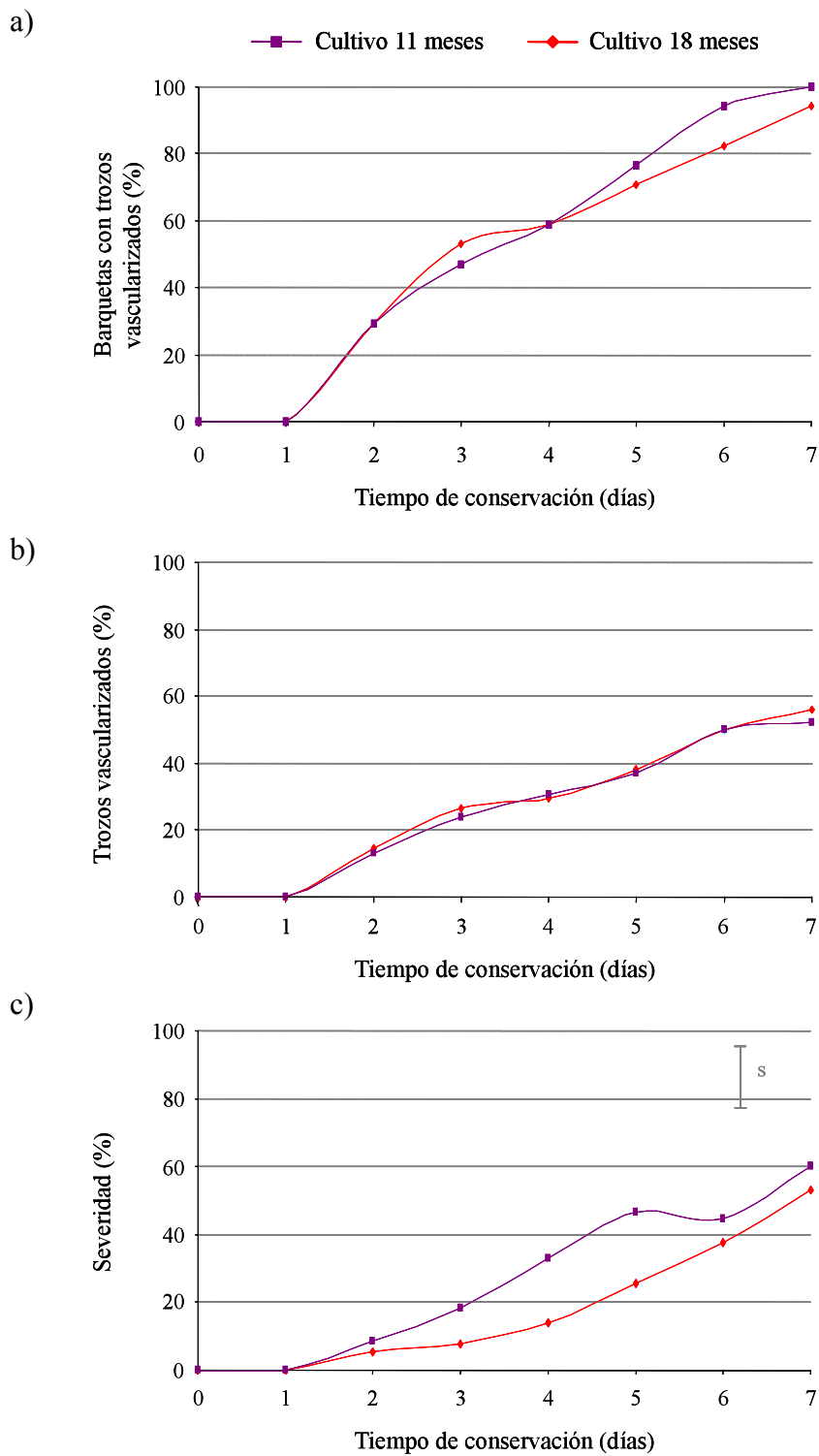


Figura 36. Efecto de la edad fisiológica de la yuca sobre el estriado vascular del tubérculo procesado mínimamente conservado durante siete días a 5°C: barquetas con trozos vascularizados (a), trozos vascularizados (b) y severidad del deterioro (c).

Se intentó determinar si el pelado y corte del tubérculo afectaba fisiológicamente al tubérculo. Para ello se midió la tasa respiratoria y la producción de etileno de la yuca entera y de la yuca una vez que había sido procesada (ambas conservadas a 5°C). La tasa respiratoria del tubérculo entero fue muy baja e igual para la yuca procedente del cultivo de 11 meses y para la de 18 meses ($8,3 \pm 2,0$ ml CO₂/kg*h). En el tubérculo cortado, independientemente de si procedía del cultivo de 11 o de 18 meses, la tasa respiratoria inicial disminuyó tres horas después del corte (un 35% respecto a la respiración en el momento del corte) para estabilizarse posteriormente. En zanahoria cortada en discos, la tasa respiratoria disminuyó a medida que la edad fisiológica del tubérculo aumentó (cinco meses de diferencia entre unos y otros) desde 15,5 a 6,7 ml CO₂/kg*h, en la zanahoria pelada y cortada a mano y conservada a 8°C (Barry-Ryan y O'Beirne, 2000). Tanto en el producto entero como en el recién procesado no se detectó producción de etileno en el momento del corte. Hirose *et al.* (1984a) evaluaron la tasa respiratoria de yucas con distintas edades fisiológicas y observaron que el tubérculo de 5 a 9 meses de edad fisiológica presentó a los cinco días de conservación una tasa respiratoria superior a la de la yuca que había sido recogida entre 8 y 10 meses después del cultivo.

Debido a la muy baja respiración de este tubérculo y a la permeabilidad del *film* utilizado en el envasado (permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono de 19.200 ml/m²*día*atm), la composición de la atmósfera en el interior de las barquetas apenas se modificó durante el periodo de conservación de la yuca mínimamente procesada. Además, el contenido de oxígeno y dióxido de carbono en el interior de los envases que contenían los trozos del cultivo de 11 y de 18 meses fue similar durante la conservación a 5°C (Figuras 37a y 37b).

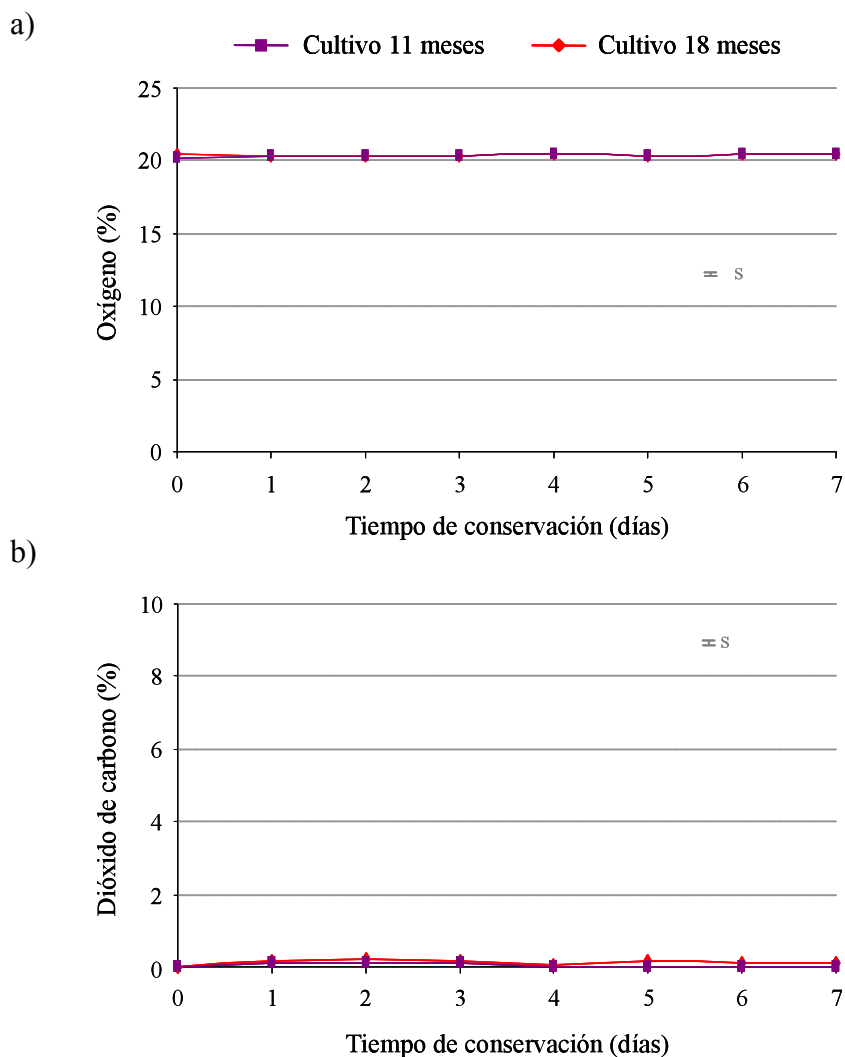


Figura 37. Composición en: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) acumulado en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada conservada durante siete días a 5°C procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica.

La pérdida de peso del tubérculo fue semejante e independiente de la edad fisiológica del cultivo. Desde que la yuca fue procesada hasta el sexto día de conservación el porcentaje de pérdida de peso se mantuvo constante ($0,019 \pm 0,027\%$) en los trozos de las dos edades de cultivo. Sin embargo, el último día de conservación, posiblemente debido al crecimiento de microorganismos en los envases, se produjo un incremento significativo de la pérdida de peso independientemente de que los trozos procedieran del cultivo de 11 meses o del

de 18 meses ($0,18 \pm 0,12\%$). En el caso de la zanahoria mínimamente procesada, Barry-Ryan y O'Beirne (2000) encontraron que la turgencia de los tejidos y la integridad celular fue mayor en las zanahorias más jóvenes (recolectadas 5 meses antes que las de más edad fisiológica) lo que favoreció a que el exudado del tubérculo y el deterioro microbiológico fuera menor.

Durante los tres primeros días de conservación no se observó deshidratación superficial en la yuca procedente de ambas edades de cultivo (Figura 38a). En cambio, desde el cuarto día y hasta el séptimo día se observó deshidratación en el 47% y en el 41% de las barquetas que contenían yuca proveniente del cultivo de 11 y 18 meses, respectivamente. El porcentaje de trozos deshidratados fue similar al porcentaje de envases con trozos deshidratados (Figura 38b). Además, el porcentaje de deshidratación de los trozos que presentaron este desorden fue ligeramente superior en los trozos provenientes de yuca recolectada 11 meses después de la siembra (entre $14 \pm 5\%$ y $30 \pm 1\%$, en el cuarto y séptimo día de conservación, respectivamente) que en la recolectada a los 18 meses ($11 \pm 4\%$ y $21 \pm 4\%$ en el cuarto y séptimo día de conservación, respectivamente).

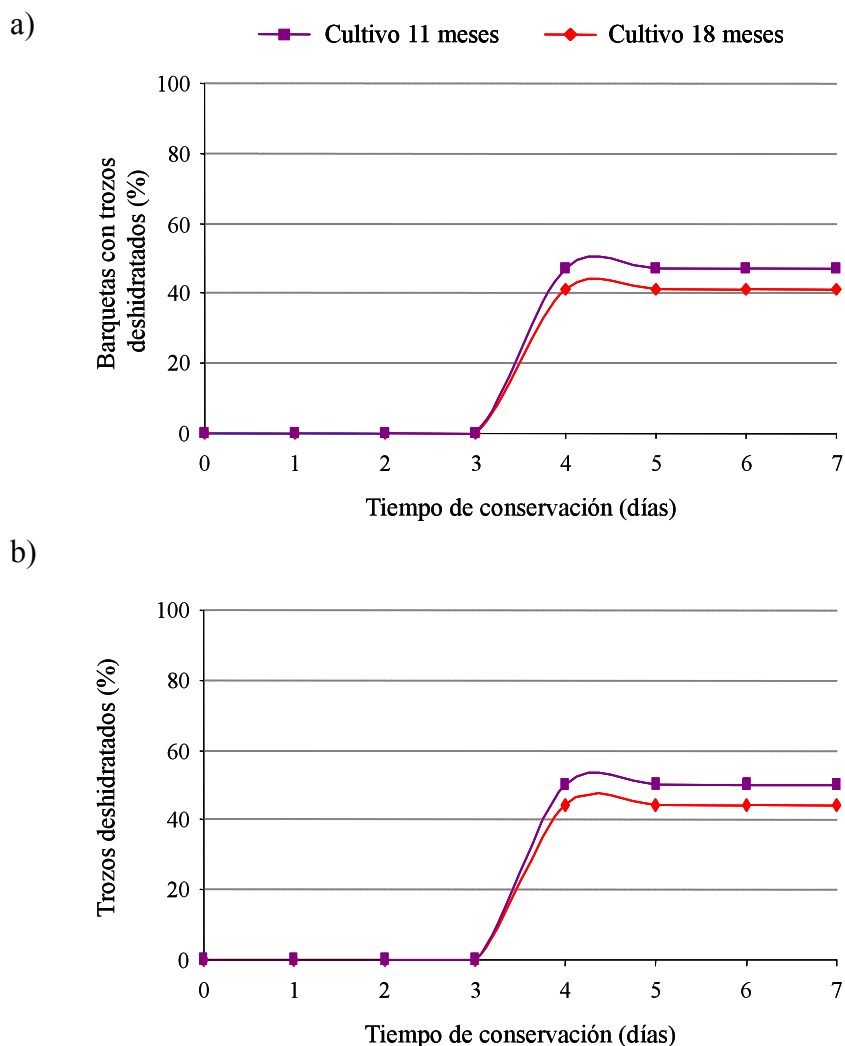


Figura 38. Evolución del porcentaje de barquetas con trozos deshidratados (a) y del de trozos deshidratados (b) durante la conservación de la yuca mínimamente procesada a 5°C durante siete días procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica.

La luminosidad y el índice de blanqueamiento de los trozos de yuca procedentes de ambas edades de cultivo, en el momento del procesado, fueron semejantes (87 ± 1 y 81 ± 1 , respectivamente). El primer día de conservación ambos parámetros sufrieron un ligero aumento independientemente de que los trozos procedieran del cultivo de 11 o de 18 meses para luego volver a descender y mantenerse constante hasta el séptimo día de conservación en el que la yuca del cultivo de 11 meses presentó una luminosidad y un índice de blanqueamiento (78

± 2 y 70 ± 2 , respectivamente) menor que la del cultivo de 18 meses de edad fisiológica (89 ± 2 y 84 ± 1 , respectivamente) (Figura 39a y 39b). Por lo tanto, el desarrollo de estriado vascular durante la conservación no se vio reflejado en estos parámetros de color.

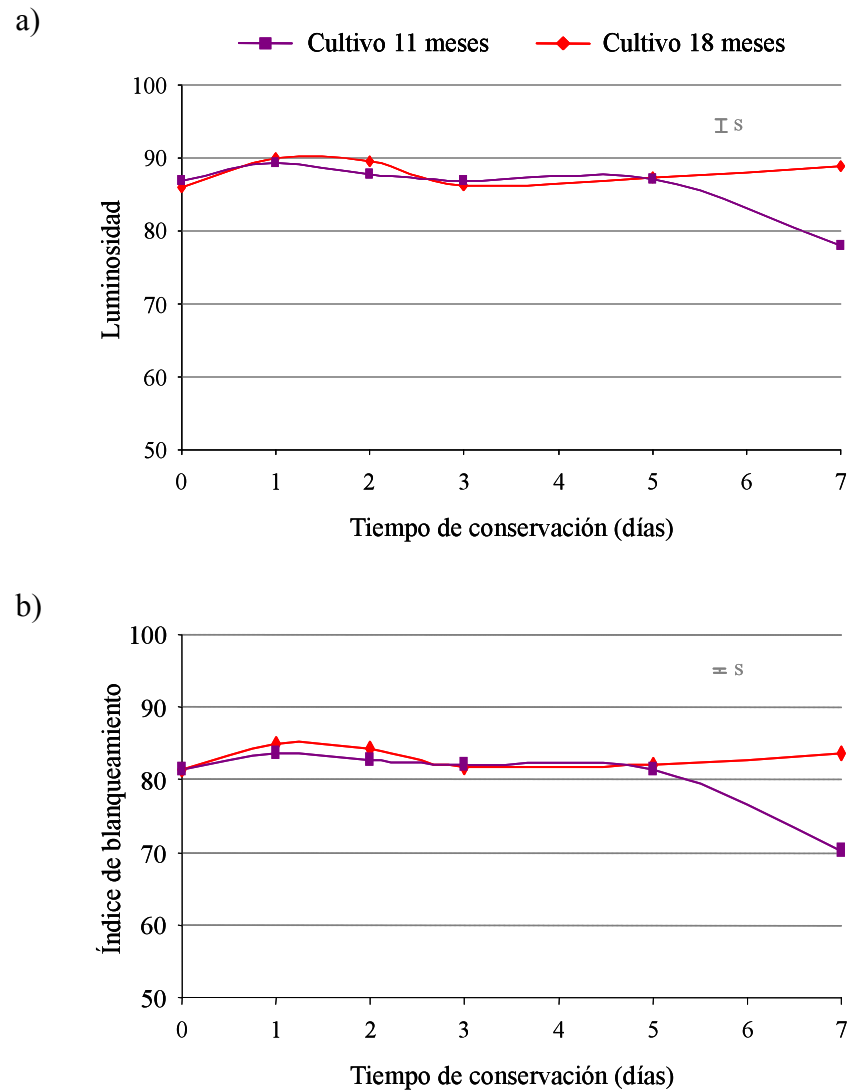


Figura 39. Luminosidad (a) e índice de blanqueamiento (b) de la yuca mínimamente procesada conservada durante siete días a 5°C procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica.

En la **Figura 40** se muestra la modificación del color de la yuca procesada durante el periodo de conservación en ambas edades de cultivo. El color se modificó a lo largo del periodo de conservación, independientemente de la edad de cultivo de los trozos. Mientras que durante los cinco primeros días de conservación prácticamente no se observaron diferencias en este parámetro entre tratamientos, al séptimo día de conservación el color de los trozos de yuca procedentes del cultivo de 11 meses sufrió un cambio de color mayor al de los trozos procedentes del cultivo de 18 meses (11 ± 2 y $3,4 \pm 0,1$, respectivamente).

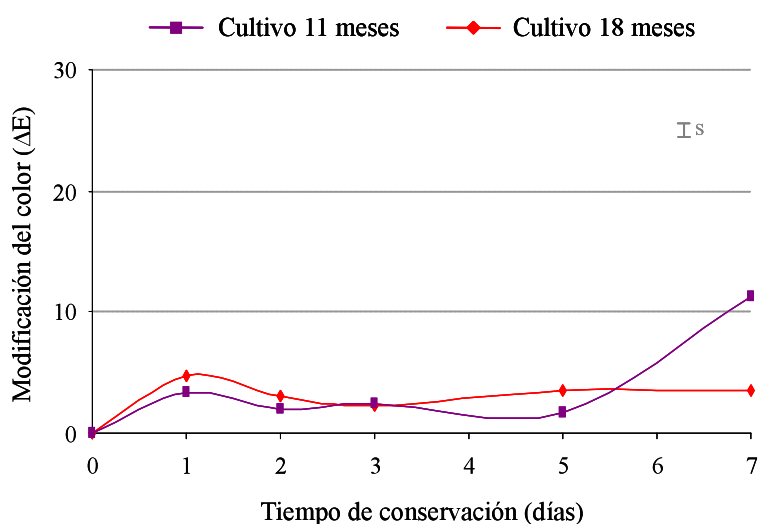


Figura 40. Modificación del color (ΔE) de la yuca mínimamente procesada conservada durante siete días a 5°C procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica.

Las actividades de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa fueron mayores, hasta el quinto día de conservación, en los trozos de yuca procedentes del cultivo de 11 meses de edad fisiológica (**Figuras 41a** y **41b**). Al séptimo día, se produjo un aumento significativo de la actividad de dichas enzimas en la yuca del cultivo de 18 meses alcanzando una actividad (tanto peroxidasa como polifenoloxidasa) semejante a la de la yuca del cultivo de 11 meses. Estas diferencias de actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa, entre los tubérculos de distintas edades fisiológicas, podrían asociarse con la mayor

severidad o gravedad en el desarrollo del estriado vascular que presentaron los tubérculos más jóvenes (11 meses) durante el tercer y quinto día de conservación.

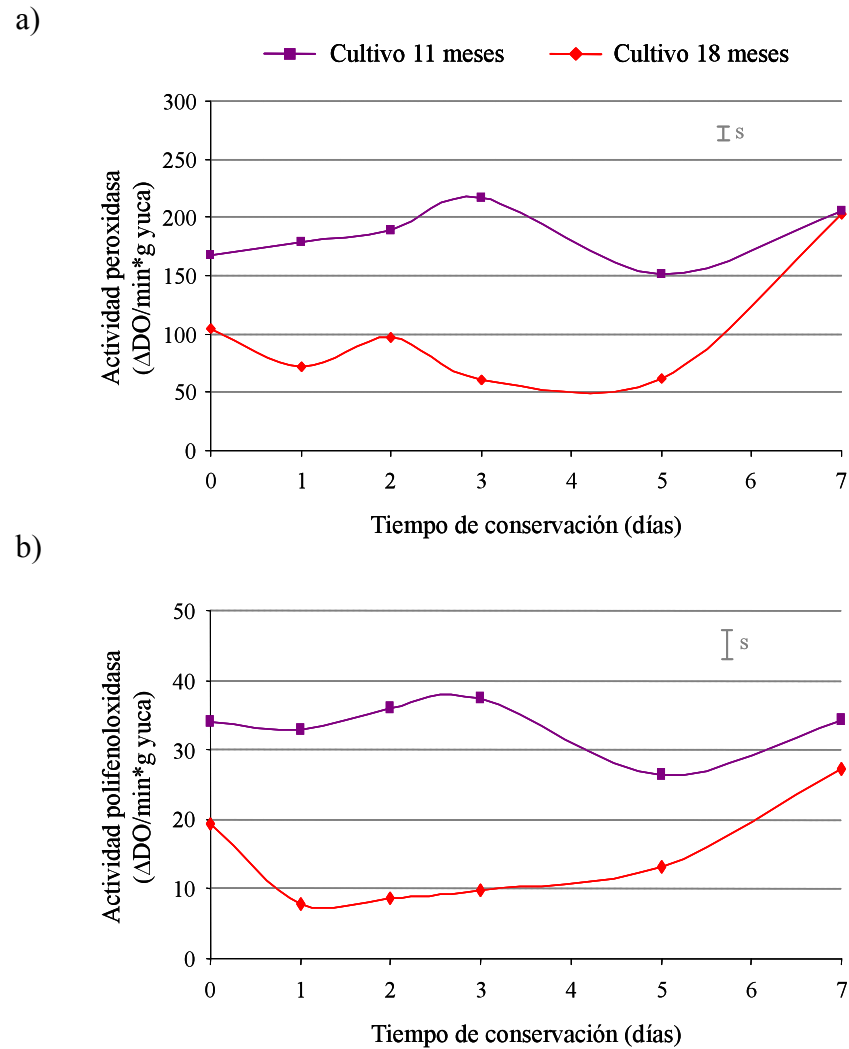


Figura 41. Actividad de la enzima peroxidasa (a) y polifenoloxidasas (b) de la yuca procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica.

Durante el periodo de conservación no se detectó la aparición de manchas amarillas en la yuca procesada mínimamente, independientemente de la edad del cultivo del tubérculo.

La firmeza de los trozos de yuca de ambas edades de cultivo aumentó durante el periodo de conservación. Sin embargo, dicha firmeza fue similar para la yuca procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica. Así, la firmeza del parénquima fue 48 ± 2 N en el momento del procesado y el último día de conservación 64 ± 5 N. El incremento de la firmeza durante la conservación en los trozos procedentes de ambas edades de cultivo puede deberse a que, a medida que transcurre el tiempo de conservación, el producto va perdiendo agua contenida en su estructura celular, provocando una pérdida de elasticidad en las paredes celulares que da lugar a un producto más rígido y que presenta mayor resistencia a la penetración y en consecuencia mayor firmeza. Además, se ha descrito que, en una segunda fase del deterioro fisiológico postcosecha, después de la aparición del estriado vascular se produce una modificación de la estructura del almidón contenido en el parénquima (Plumbey y Richard, 1991).

El contenido en glucósidos cianogénicos, fue similar en los trozos procedentes del cultivo de 11 meses y de 18 meses, 110 ± 37 mg/kg yuca, en el momento del procesado y durante la conservación.

En relación a la calidad sensorial de la yuca cruda, los catadores evaluaron durante la conservación con la misma aceptabilidad el aspecto general y el color de los trozos procedentes de ambas edades de cultivo. Además, sólo siete días después del procesado, el panel de catadores calificó como inaceptable el aspecto general y el color de la yuca cruda, independientemente de la edad fisiológica de los tubérculos procesados (Figura 42). Los catadores también evaluaron la presencia o no de estriado vascular y, a partir del tercer día de conservación, un 75-100% de ellos detectaron estriado vascular en la yuca, que fue ligeramente superior en el cultivo de 18 meses. Ya desde el momento del procesado de la yuca el 30-40% de los catadores observaron deshidratación. A partir del tercer día de conservación más del 75% del panel de cata describió la presencia de este tipo de deterioro en la yuca cruda, tanto en la procedente de los tubérculos con 11 meses

de cultivo como en la de 18 meses. Sin embargo, después de siete días de conservación los catadores señalaron que los trozos de yuca del cultivo de 18 meses presentaron una deshidratación ligeramente superior a los del cultivo de 11 meses.

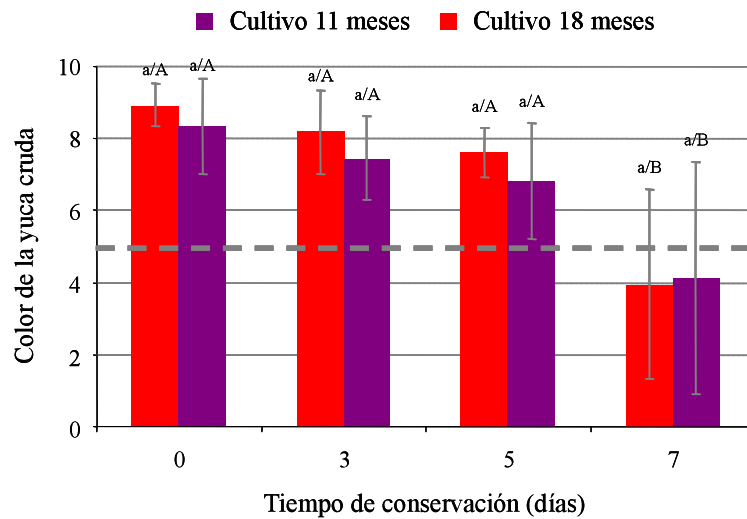


Figura 42. Color de los trozos de yuca cruda procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica conservada durante siete días a 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre edades de cultivo o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Mientras que al quinto día de conservación un 78% y un 67% de los catadores comprarían las barquetas con trozos del cultivo de 11 y 18 meses, respectivamente, al séptimo día de conservación sólo lo harían el 29% y el 14% (Figura 43).

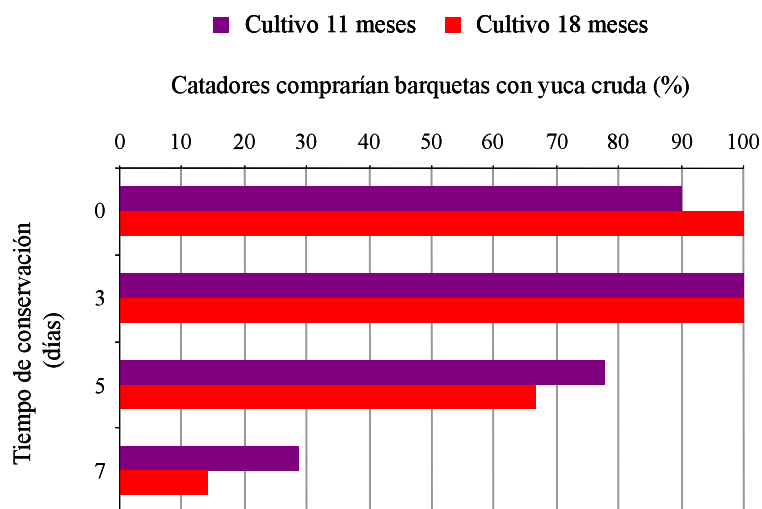


Figura 43. Catadores (%) que comprarían la yuca cruda procedente del cultivo de 11 y 18 meses de edad fisiológica conservada durante siete días a 5°C.

El tiempo destinado al cocinado de los tubérculos fue similar, 60 minutos, independientemente de la edad fisiológica de las raíces. Dicho resultado también lo observaron Borges *et al.* (2002) al evaluar 26 variedades de yuca con distintas edades fisiológicas (8, 10 y 12 meses). En cuanto al tiempo de cocinado de los tubérculos, dichos autores no detectaron diferencias significativas entre las distintas edades evaluadas, así como tampoco entre las variedades. Por otro lado, el tiempo medio destinado al cocinado de los tubérculos fue de 25 minutos, aproximadamente la mitad de tiempo que se empleó en el cocinado de la yuca procedente de la isla de El Hierro. Oliveira y Moraes (2009b) determinaron que 9 meses es la edad fisiológica óptima para la recolección de la yuca de la variedad “IAC 576-70”, debido a su calidad culinaria. Fialho *et al.* (2007) evaluaron nueve variedades de yuca de 9, 10 y 12 meses de edad fisiológica y señalaron que, independientemente de la variedad, las recolectadas después de 9 meses de cultivo presentaron un tiempo de cocción inferior a los 30 minutos; sin embargo, cuatro variedades de la yuca de 10 meses de edad fisiológica superaron los 30 minutos de cocción.

El análisis sensorial del producto cocinado se llevó a cabo hasta los cinco días de conservación, debido a que a los siete días el aspecto de la yuca, debido al desarrollo del estriado vascular, producía un rechazo y desconfianza al consumo en los catadores. En el mismo día en que fueron procesados, el panel de catadores diferenció el aspecto general y el color de los trozos de yuca cocinados procedentes de ambas edades de cultivo. La yuca cocinada procedente de tubérculos del cultivo de 18 meses de edad fisiológica fue mejor valorada (9 ± 1 en aspecto general y en color) que la procedente del cultivo de 11 meses (7 ± 2). Sin embargo, ni a los tres ni a los cinco días de conservación, los catadores detectaron diferencias en el aspecto general o en el color para ninguna de las edades de cultivo (8 ± 1 y 8 ± 2 , respectivamente). Tampoco se detectaron sabores extraños en la yuca cocinada durante el periodo de conservación independientemente de la edad de cultivo procesada.

Como conclusión, la edad fisiológica óptima de las raíces de yuca para ser procesadas mínimamente fue la de 18 meses, entre otras razones porque el tiempo necesario para el pelado fue casi la mitad que el necesario para pelar la yuca procedente del cultivo de 11 meses. Además, el color de la yuca de 18 meses se mantuvo más estable durante la conservación, presentando ligeramente menor deshidratación y estriado vascular que la yuca proveniente del cultivo más joven.

4.3. Optimización de la temperatura y el tiempo de conservación de la yuca antes del procesado

La presencia de estriado vascular en la yuca depende de varios factores postcosecha. En Brasil, se estima que el 23% de la producción de raíces de yuca se pierde después de la recolección, debido a un inadecuado conocimiento de las técnicas de almacenamiento (Bezerra *et al.* 2002b). En general, el almacenamiento a altas temperaturas y los tiempos de conservación largos aceleran los procesos fisiológicos de degradación como el estriado vascular (Zapata, 2001; Sánchez y Alonso, 2002). Según Cantwell (2001) la temperatura óptima de conservación de la yuca es de 0-5°C durante 1-2 meses. Por tanto, con el fin de evitar la aparición del estriado vascular durante la conservación del tubérculo entero antes de ser procesado, se estudió el efecto de la temperatura de conservación y el tiempo que transcurre entre la recolección y el procesado sobre la calidad de la yuca. La yuca se almacenó a tres temperaturas (25, 10 ó 5°C) durante 18 horas (tiempo mínimo desde la recolección de la yuca en la isla de El Hierro y su transporte hasta la isla de Tenerife donde es procesada al día siguiente de la recolección) o ampliando la conservación durante dos días más (66 horas).

Debido a la alta incidencia de estriado vascular, en algunos tratamientos se observaron diferencias importantes en el porcentaje de tubérculos que pudieron ser procesados y en la pulpa procesable. El 100% de la yuca conservada a 5°C durante 18 horas pudo ser procesada. También se pudo procesar alrededor del 85% de los tubérculos almacenados durante 18 horas (a 25 y 10°C) y durante 66 horas a 5°C. Sin embargo, a medida que aumentó el tiempo y temperatura de almacenamiento el desarrollo de estriado vascular se hizo mucho más patente. Así, sólo el 42% de los tubérculos conservados durante 66 horas a 10°C se pudo procesar y la yuca conservada durante 66 horas a 25°C no pudo procesarse al estar todos los tubérculos 100% vascularizados (Foto 19). Una vez eliminadas aquellas

yucas que eran improcesables se evaluó el porcentaje de pulpa procesable en las que podían procesarse de forma total o parcial.



Foto 19. Aspecto de los trozos de yuca que fue conservada durante 18 ó 66 horas a 25, 10 ó 5°C antes del procesado.

La yuca conservada durante 18 horas a las distintas temperaturas evaluadas presentó un porcentaje de pulpa procesable del $71 \pm 4\%$ (Figura 44a y 44b) siendo la severidad de la vascularización entre el 0% (yuca conservada a 10 y 5°C) y el $9 \pm 13\%$ (a 25°C). Sin embargo, cuando los tubérculos se conservaron durante 66 horas a 10 y 5°C el porcentaje de pulpa procesable se redujo ($54 \pm 21\%$ y $65 \pm 5\%$, respectivamente), debido a que la severidad de la vascularización en los

tubérculos que se pudieron procesar alcanzó el $43 \pm 25\%$ y $4 \pm 7\%$, respectivamente.

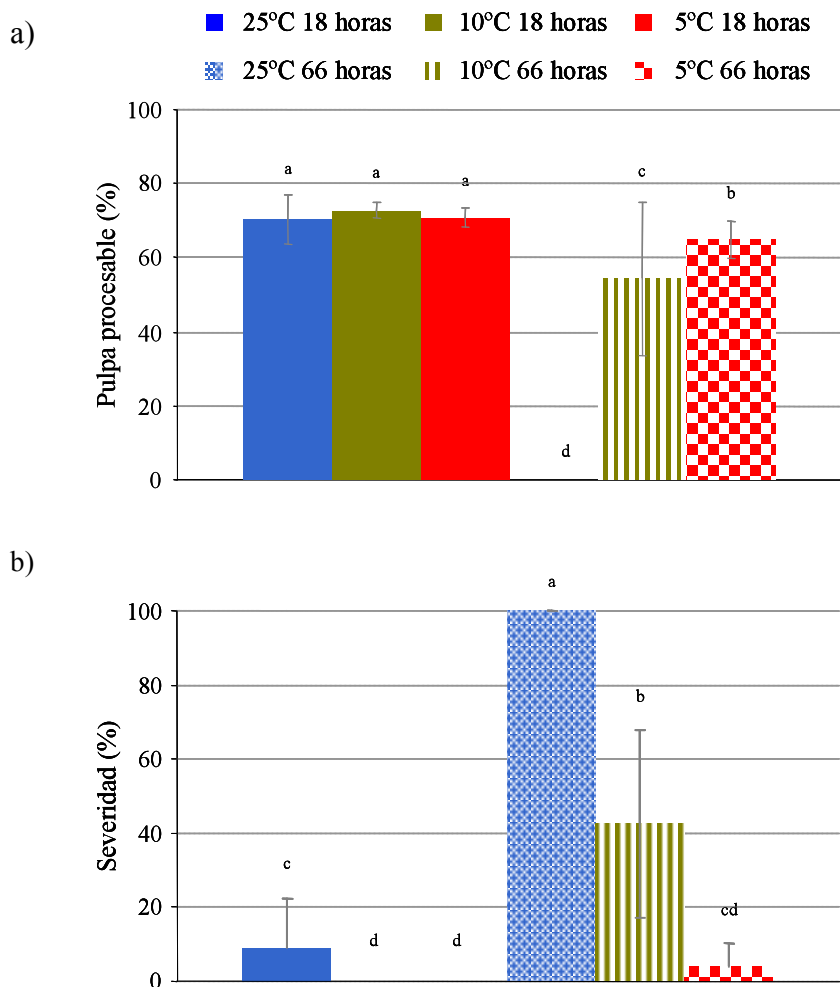


Figura 44. Efecto de la temperatura y el tiempo de conservación de la yuca entera sobre el porcentaje de pulpa procesable (a) y la severidad de la vascularización (b) en aquellos tubérculos que fueron procesados.

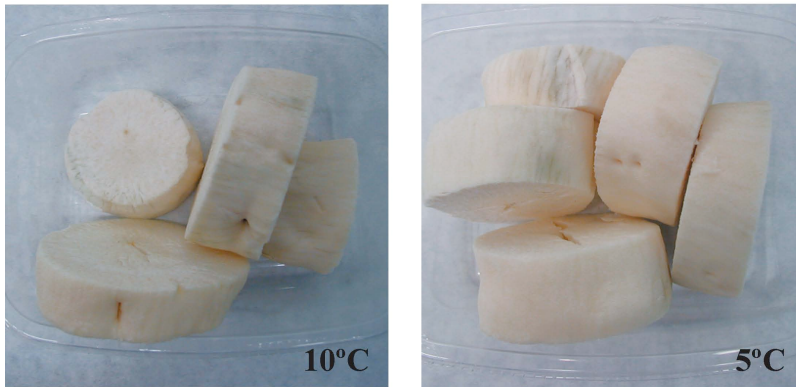
Letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

En cuanto al tiempo empleado en la operación de pelado, no hubo diferencias significativas entre las yucas conservadas durante 18 horas y 66 horas a las distintas temperaturas de conservación evaluadas, siendo el tiempo medio empleado $2,5 \pm 1,0$ min/kg yuca. Vilpoux y Cereda (2003) señalaron que el tiempo de pelado de la yuca depende enormemente de la calidad de la yuca a

procesar pudiendo aumentar a más del doble si los tubérculos no tienen la calidad adecuada. En este sentido, con el objetivo de aumentar la productividad en esta etapa tecnológica, estos autores recomiendan que el tiempo entre la recolección y el pelado no sea superior a un día.

Una vez que la yuca se procesó y se conservó a 5°C, a los tres días después del procesado se observó que las barquetas que contenían trozos procedentes de las yucas que se conservaron durante 66 horas tanto a 10 como a 5°C, presentaban mayor vascularización (100 y 71% de las barquetas, respectivamente) que las de los trozos procedentes de yucas conservadas 18 horas a 25, 10 y 5°C (42, 23 y 37% de las barquetas, respectivamente) (Foto 20). Mientras que a los siete días de conservación el 100 y 83% de las barquetas con trozos procedentes de yucas conservadas 18 horas a 25 y 5°C presentaron vascularización, todavía el 35% de las barquetas con trozos de yuca conservada durante 18 horas a 10°C no presentaban este deterioro fisiológico.

66 horas



18 horas

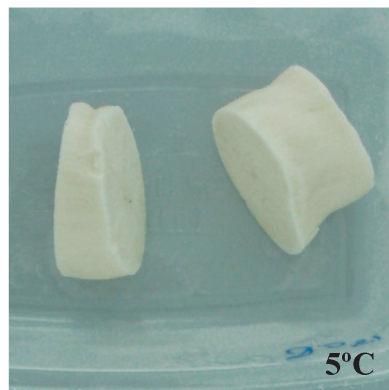
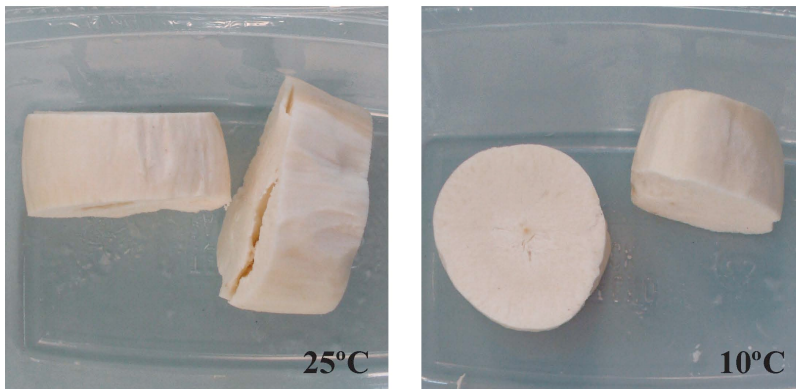


Foto 20. Aspecto, a los tres días de conservación a 5°C, de los trozos de yuca que procedían de yuca entera conservada durante 66 horas a 10 ó 5°C y 18 horas a 25, 10 ó 5°C.

Por lo tanto, los tubérculos procesados provenientes de las yucas enteras conservadas previamente durante 66 horas (tanto a 10°C como a 5°C) tuvieron una

vida útil de tres días debido al alto desarrollo de estriado vascular que presentaban.

Las altas temperaturas de conservación del tubérculo antes del procesado pueden hacer que la tasa respiratoria se vea incrementada y por lo tanto afectar a la vida útil y la calidad del producto. La tasa respiratoria del tubérculo entero conservado a la temperatura más alta durante el tiempo más prolongado (25°C, 66 horas) no se pudo evaluar, debido a que esa yuca no se pudo procesar por la alta incidencia de estriado vascular presentada bajo estas condiciones de almacenamiento. La tasa respiratoria de los tubérculos enteros fue muy baja (14 ± 6 ml CO₂/kg*h), excepto la de la yuca conservada a 10°C durante 66 horas que fue aproximadamente 2,5 veces superior a la del resto de tratamientos evaluados. El pelado y el corte de la yuca no afectaron a la tasa respiratoria de los tubérculos ya que ésta fue igual en los trozos y en las yucas enteras para cualquiera de los tratamientos evaluados. Tanto en el producto entero como en el procesado no se detectó producción de etileno.

La composición en oxígeno y dióxido de carbono en el interior de los envases de yuca mínimamente procesada (Figura 45a y 45b) fue similar para los distintos tratamientos de temperatura y tiempo de conservación del tubérculo entero antes del procesado. Además tampoco se modificó durante la conservación de la yuca procesada.

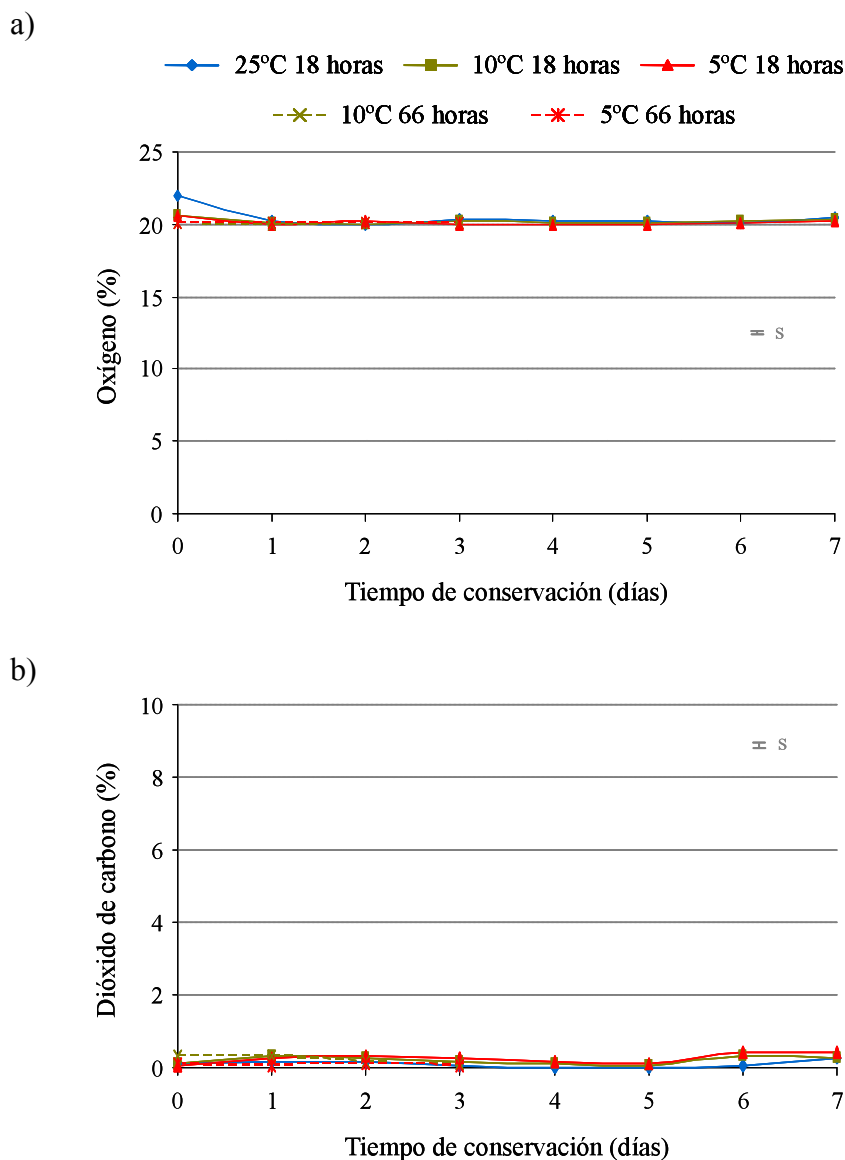


Figura 45. Efecto de la temperatura y tiempo de conservación de la yuca entera sobre la composición en: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada conservada durante siete días a 5°C.

Una vez procesada la yuca, durante los siete días de conservación a 5°C, se produjo una pequeña acumulación de etileno en el interior de las barquetas en todos los tratamientos ensayados (Figura 46). Desde el momento del procesado hasta el cuarto día, así como al sexto día, no se observaron diferencias entre tratamientos, sin embargo, al quinto día las barquetas con trozos de yuca que

había sido conservada durante 18 horas a 25°C fueron las que menos etileno acumularon ($0,06 \pm 0,02 \mu\text{l}$) frente a las conservadas a 10 y 5°C durante 18 horas que presentaron el mismo ($0,14 \pm 0,06 \mu\text{l}$). Al séptimo día, las barquetas con trozos de yuca que había sido conservada a 25°C durante 18 horas siguieron siendo las que menor acumulación de etileno presentaron ($0,08 \pm 0,01 \mu\text{l}$ etileno), en cambio las que contenían trozos de yuca conservada a 5°C acumularon un volumen de etileno ligeramente superior ($0,17 \pm 0,08 \mu\text{l}$).

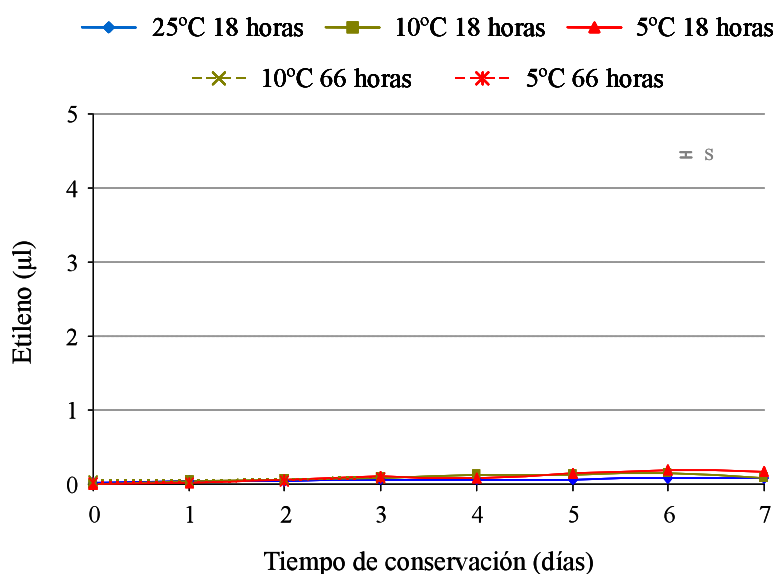


Figura 46. Acumulación de etileno (μl) en el interior de las barquetas de yuca que fue conservada durante 18 ó 66 horas a 25, 10 ó 5°C, procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C.

La pérdida de peso durante el periodo de conservación, fue semejante para todos los tratamientos evaluados no superando el $0,014 \pm 0,009\%$ al final de la vida útil de la yuca. En general, los tubérculos mínimamente procesados apenas sufren pérdida de peso durante la conservación, hecho que se ha confirmado en este estudio desarrollado con yuca.

Durante el periodo de conservación de la yuca procesada mínimamente no se observó deshidratación superficial, independientemente de la temperatura y el tiempo de conservación al que se sometieron las yucas enteras.

Con respecto al color de la yuca, en el momento del procesado, los trozos que mayor luminosidad e índice de blanqueamiento presentaron fueron aquellos que procedían de yucas conservadas durante 18 horas a las tres temperaturas del ensayo (86 ± 2 y 81 ± 2 , respectivamente). La yuca que menor luminosidad e índice de blanqueamiento presentó fue la procedente de yucas conservadas 66 horas a 5°C (74 ± 2 y 68 ± 2 , respectivamente). Durante la conservación, en todos los tratamientos se produjo un incremento significativo de estos parámetros, aunque el mayor incremento lo presentaron los trozos procedentes de yucas conservadas durante 66 horas a 5°C (incremento del 12% frente a un 3% del resto de tratamientos) (Figura 47a y 47b). Los trozos de yuca que presentaron, a las 24 horas después del corte, mayor variación de color (ΔE) fueron los que procedían de yuca entera que había sido conservada durante 66 horas a 5°C ($8,9 \pm 3,6$). En el resto de tratamientos también se observó una modificación del color pero mucho más ligera (Figura 47c). Esta tendencia se observó hasta el tercer día de conservación (fin de la vida útil de la yuca que había sido conservada durante 66 horas a 10 y 5°C). En cambio, la modificación del color de la yuca que fue conservada durante 18 horas a 25, 10 y 5°C fue similar hasta el séptimo día ($3,1 \pm 2,0$).

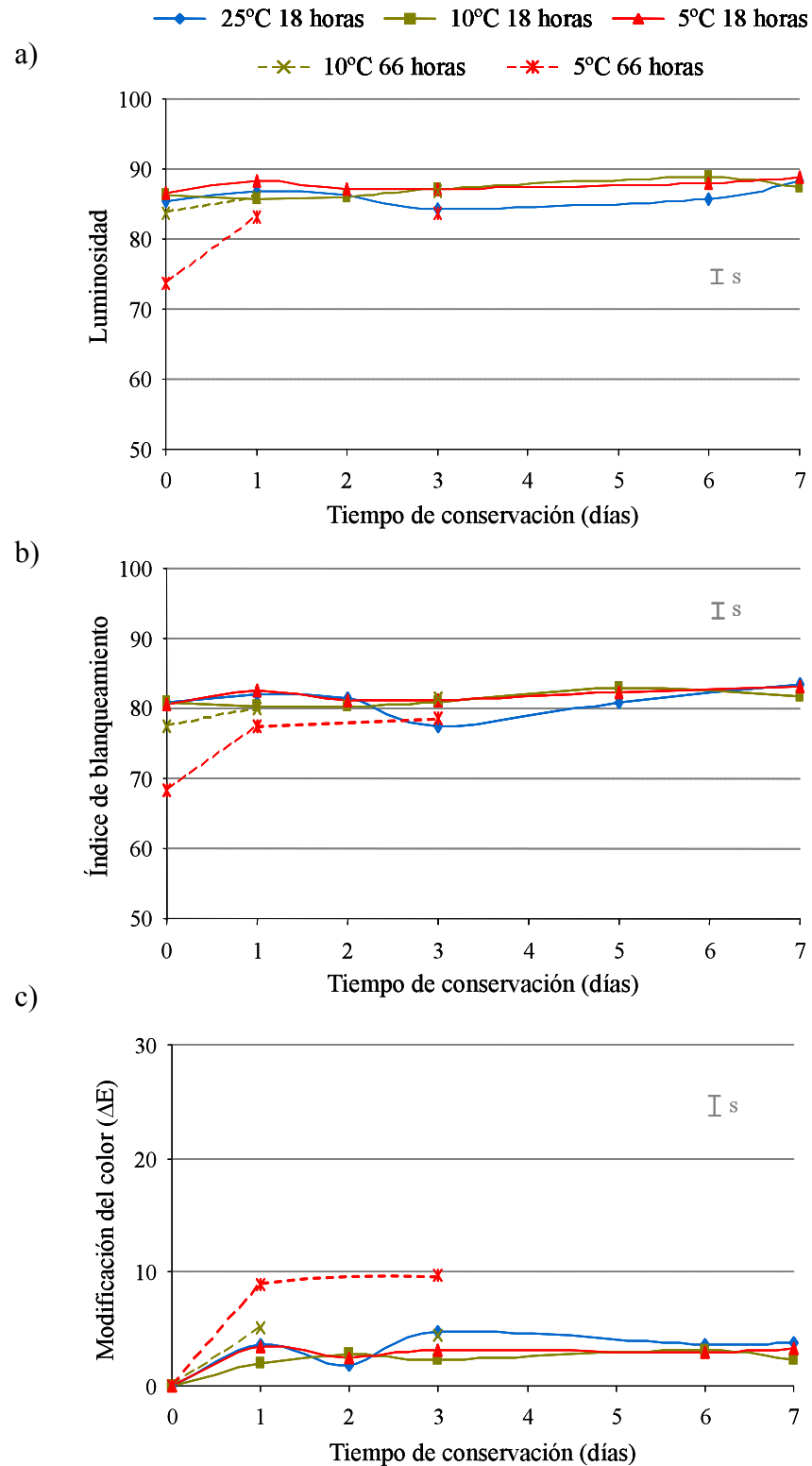


Figura 47. Luminosidad (a), índice de blanqueamiento (b) y modificación del color (ΔE) (c) de la yuca procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C procedente de yuca entera conservada durante 18 ó 66 horas a 25, 10 ó 5°C.

La evolución de la actividad peroxidasa durante los siete días de conservación a 5°C se muestra en la [Figura 48a](#). Se observó en todos los tratamientos evaluados que la actividad de la enzima peroxidasa aumentó a lo largo del periodo de conservación, salvo en los trozos procedentes de yuca conservada durante 18 horas a 5°C y 66 horas a 10°C en los que la actividad disminuyó. En el momento del procesado y a los tres días de conservación los trozos procedentes de yuca que había sido conservada durante 66 horas a 5°C fueron los que mayor actividad peroxidasa presentaron ($188 \pm 10 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca en el momento del procesado y $211 \pm 14 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca a los tres días). De los trozos que procedían de yuca que había sido conservada durante 18 horas antes del procesado, los conservados a 5°C fueron los que menor actividad peroxidasa presentaron a los siete días de conservación $67 \pm 17 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca, mientras que los conservados a 25 y 10°C tuvieron una actividad media de $132 \pm 9 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca. En el momento del procesado la mayor actividad polifenoloxidasas la presentaron los trozos procedentes de yuca conservada a 5°C durante 66 horas ($25 \pm 2 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca), mientras que los conservados durante 18 horas a 10°C presentaron una actividad menor ($5,0 \pm 1,2 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca). Durante la conservación, la actividad de la enzima polifenoloxidasas sufrió un incremento significativo en los trozos procedentes de yuca que había sido conservada, antes del procesado, durante 18 horas a 10 y 5°C y en los conservados durante 66 horas a 5°C, mientras que, en los trozos procedentes de la yuca que fue conservada a 10°C durante 66 horas y a 25°C durante 18 horas no se produjo dicho aumento y se mantuvo constante hasta el último día de conservación ([Figura 48b](#)). Los trozos de yuca procedentes de la yuca conservada durante 18 horas a 10°C fueron los que menor actividad presentaron el último día de conservación ($9,9 \pm 1,5 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca) frente a los conservados a 25 y 5°C durante el mismo tiempo, con una actividad media de $16 \pm 4 (\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca).

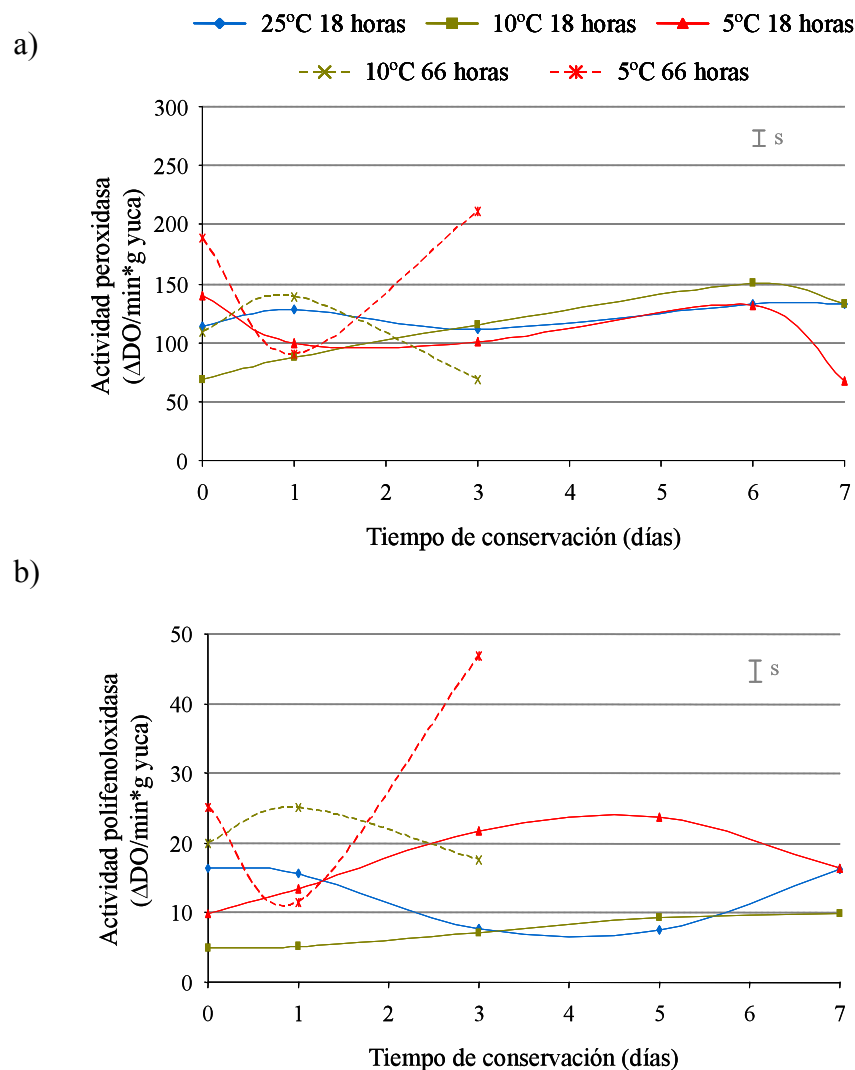


Figura 48. Efecto de la temperatura y tiempo de conservación de la yuca entera sobre la actividad de la enzima peroxidasa (a) y polifenoloxidasas (b) ($\Delta\text{DO}/\text{min}\cdot\text{g}$ yuca) de trozos de yuca que fue procesada mínimamente conservada durante siete días a 5°C .

En cuanto a la firmeza de los trozos de yuca procesados, se observó que tanto el día del procesado como a las 24 horas del mismo la yuca que fue conservada a 25°C (durante 18 horas) presentó menor firmeza que la del resto de tratamientos evaluados (49 ± 1 y 59 ± 1 N, respectivamente para la firmeza inicial). Sin embargo, la firmeza de los trozos que procedían de yuca conservada a 25°C aumentó durante la conservación por lo que, en el último día de conservación, no se observaron diferencias significativas en la firmeza de los

distintos tratamientos evaluados (60 ± 3 N). En el caso del producto entero, Nourian *et al.* (2003) evaluaron la firmeza de papas almacenadas a distintas temperaturas durante 140 días y observaron que la conservación entre 4 y 8°C retardaba la pérdida de firmeza, manteniendo así la calidad de los tubérculos durante 133 días; sin embargo, las papas almacenadas a 16 y 20°C presentaron un importante deterioro en la calidad a los 21 y 35 días, respectivamente.

En cuanto al contenido en glucósidos cianogénicos, no se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos evaluados. Además, el contenido en todos ellos, que se encontraba dentro de los niveles en los que se considera seguro el consumo de yuca, fue constante a lo largo del periodo de conservación.

A lo largo de la conservación se produjo un descenso en la valoración del aspecto general de los trozos de yuca cruda, independientemente de la temperatura y del tiempo de conservación en los que se almacenó el producto entero. En la **Figura 49a** se observa que hasta el quinto día de conservación el aspecto de los trozos procedentes de la yuca que había sido conservada durante 18 horas a 25 y 10°C se mantuvo por encima del límite de aceptabilidad, no así los conservados a 5°C. La aceptabilidad de los trozos que procedían de yuca conservada durante 66 horas a 10 y 5°C se encontraba, al tercer día, por debajo de ese límite. La evaluación del color de la yuca cruda fue similar al aspecto general. En el momento del procesado el 100% de los catadores comprarían cualquier barqueta, independientemente de la temperatura y del tiempo de conservación a la que se almacenó el producto entero (**Figura 49b**). Sin embargo, al tercer día de conservación se observó que los catadores se decantaron por la yuca que había sido conservada durante 18 horas a 25, 10 y 5°C, (100, 88 y 50%, respectivamente) rechazando aquellas que fueron conservadas durante 66 horas tanto a 10°C como a 5°C. Si bien al quinto día de conservación los catadores indicaron que comprarían casi en un 50% las barquetas que contenían trozos

procedentes de yuca entera conservada durante 18 horas a 25 y 10°C, después de siete días el porcentaje de catadores que comprarían uno u otro producto fue del 14 y 57%, respectivamente. Sólo el 7% de los catadores compraría al quinto día las barquetas con trozos procedentes de yuca que había sido conservada durante 18 horas a 5°C y ninguno el séptimo día.

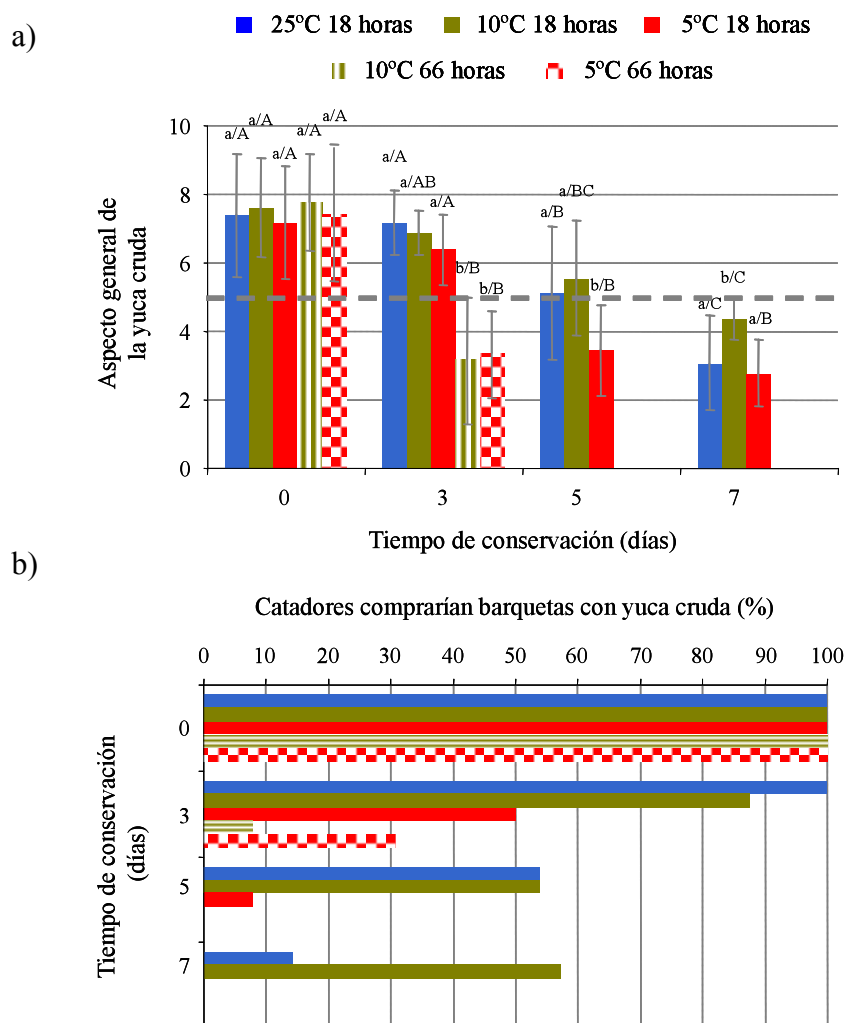


Figura 49. Aspecto general (a) y porcentaje de catadores (b) que comprarían yuca mínimamente procesada conservada durante siete días a 5°C procedente de yuca entera conservada durante 18 ó 66 horas a 25, 10 ó 5°C.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de la yuca entera antes del procesado o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

En cuanto al producto cocinado, el panel de catadores describió que los trozos procedentes de yucas que habían sido conservadas durante 18 horas a 25°C y 66 horas a 10 y 5°C sufrieron a lo largo de la conservación una degradación del aspecto general y del color una vez cocinadas (Figura 50). En cambio en el resto de los tratamientos evaluados no detectaron dicho deterioro y la aceptabilidad se mantuvo constante hasta el último día de evaluación (cinco días). Además, en el momento del procesado la yuca peor evaluada por los panelistas, en cuanto a su aspecto general y al color fue la que había sido conservada durante 18 horas a 5°C. Al final de la conservación, la yuca con mejor aspecto general y color fue la que procedía de aquella conservada durante 18 horas a 10°C (7 ± 2 para ambos aspectos de calidad). El panel de catadores estimó al final de la conservación, que el sabor de los trozos de yuca conservada durante 18 horas a cualquiera de las temperaturas era aceptable (7 ± 2). Además, independientemente de los tratamientos evaluados, el panel de catadores no detectó ningún sabor extraño en la yuca cocinada durante el periodo de conservación.

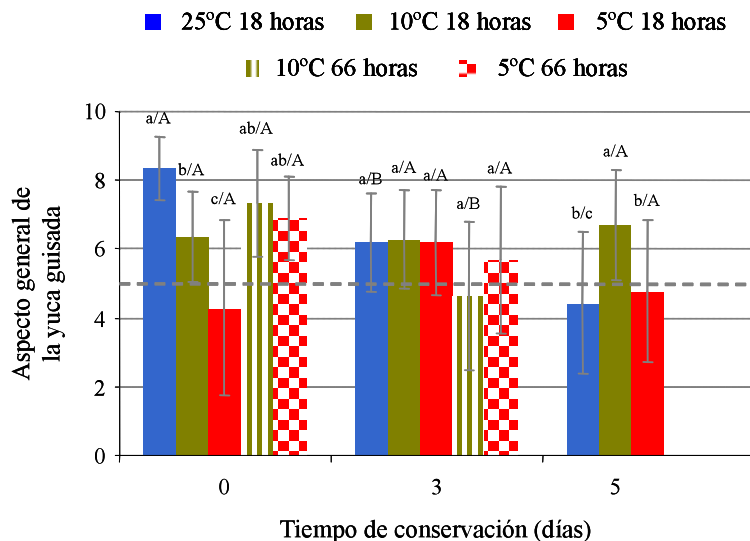


Figura 50. Aspecto general de la yuca cocinada conservada durante siete días a 5°C y que procedía de yuca entera conservada durante 18 ó 66 horas a 25, 10 ó 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de la yuca entera antes del procesado o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Una vez evaluados los parámetros sensoriales tanto en los trozos crudos como en los guisados, el panel de catadores seleccionó aquel tratamiento que le parecía más apto para el consumo. Como se observa en la [Figura 51](#), en el momento del procesado aproximadamente el 85% de los catadores eligieron los trozos que procedían de las yucas que habían sido conservadas 18 horas a 25°C. Sin embargo, tanto a los tres como a los cinco días de conservación la mayoría de los catadores se inclinó por los trozos procedentes de yucas conservadas 18 horas a 10°C.

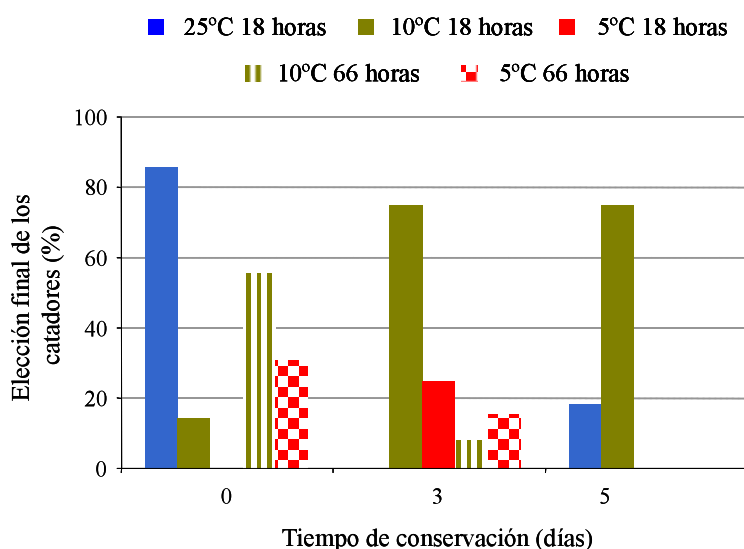


Figura 51. Elección final de los catadores (%) de yuca procesada mínimamente procedente de yuca entera conservada durante 18 ó 66 horas a 25, 10 ó 5°C.

Por tanto, se puede concluir que la temperatura y el tiempo al que se almacena la yuca entera antes del procesado influyen de manera crucial en la calidad del producto mínimamente procesado. Así, la conservación de la yuca durante 66 horas a 25°C impidió que los tubérculos pudieran procesarse debido al desarrollo de estriado vascular en éstos. De igual manera, la calidad y la vida comercial de la yuca mínimamente procesada procedente de tubérculos conservados a 10 y 5°C durante este tiempo (66 horas) fue inferior a la de la yuca

almacenada durante 18 horas (a 25, 10 ó 5°C). El tratamiento más adecuado para conservar la yuca antes del procesado fue 18 horas a 10°C, ya que en dichas condiciones el porcentaje de barquetas con trozos vascularizados fue significativamente inferior al resto de tratamientos y además el panel de catadores lo seleccionó como el que proporcionaba el producto más apto para el consumo.

4.4. Optimización de la operación de lavado de la yuca

La yuca es un tubérculo que al desarrollarse debajo del suelo presenta gran cantidad de tierra y contaminación microbiana. Así, la población inicial de microorganismos aerobios mesófilos y de hongos y levaduras de la yuca entera antes del lavado es alta: $3,9 \pm 0,1$ y $2,1 \pm 0,1$ Log (ufc/g), respectivamente. Por tanto, la optimización de la etapa de lavado es fundamental para asegurar un producto mínimamente procesado de calidad higiénico-sanitaria garantizada. De manera general, para la operación de lavado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se recomiendan concentraciones de cloro libre entre 50 y 200 mg/l, pH entre 5,0 y 7,5, y una exposición del producto en el agua de lavado de 3 a 20 minutos (Gorny *et al.*, 2000; Vanetti, 2000; Oliveira *et al.*, 2003; Delaquis *et al.*, 2004).

Teniendo en cuenta que la cantidad de agua recomendada en el lavado de productos hortofrutícolas es 5-10 l agua/kg de producto (Yildiz, 1994), se recurrió a hacer un primer lavado de la yuca por inmersión en un recipiente de acero inoxidable con agua (10 l agua/kg yuca) clorada a una concentración de hipoclorito sódico de 200 mg/l en cámaras de refrigeración a 5°C, durante 1, 2, 5 ó 10 minutos. Cualquiera de los tiempos de lavado redujo la carga de microorganismos aerobios mesófilos un 10-15%. Sin embargo, en el caso de los hongos y levaduras sólo se redujo la carga (alrededor de un 15%) cuando el lavado se hizo durante 1 minuto. Para el resto de tiempos de lavado la carga de hongos y levaduras fue similar a la del producto entero sin lavar.

Para algunos productos como la papa (Gil y Tudela, 2003) se ha descrito como fundamental el lavado del tubérculo con un cepillo con el fin de eliminar al máximo los restos de tierra que pudieran quedar adheridos a la superficie de éste. Por ese motivo se decidió hacer un lavado de la yuca en agua clorada (10 l agua/kg yuca; hipoclorito sódico, 200 mg/l) a 5°C, durante aproximadamente 1 minuto, tiempo necesario para cepillar uniformemente toda la superficie de cada

tubérculo. La reducción de la carga microbiana de este lavado con cepillado fue similar a la obtenida en el lavado por inmersión. Sin embargo, se decidió que era necesario, aunque insuficiente, realizar este primer lavado con cepillado ya que así se eliminaba la tierra adherida a la superficie del tubérculo.

Se recurrió a evaluar la eficacia de un segundo lavado mediante inmersión de la yuca entera, empleando 10 l agua/kg de yuca a una concentración de 200 mg/l hipoclorito sódico y una temperatura de 5°C. Debido a que en la bibliografía de lavado de los tubérculos mínimamente procesados (Oliveira *et al.*, 2003; Lund *et al.*, 2005a) se proponen distintos tiempos de lavado, se evaluaron diferentes tiempos de inmersión 0, 2, 5, 10 ó 15 minutos con el fin de determinar el tiempo óptimo para conseguir que la materia prima que se iba a procesar tuviera la menor carga microbiana inicial posible. En las Figuras 52a y 52b se representan el recuento de microorganismos mesófilos aerobios y hongos y levaduras una vez que la yuca fue procesada. Se observó que, a medida que aumentó el tiempo del segundo lavado disminuyó el recuento de microorganismos mesófilos aerobios hasta los 5 minutos de inmersión donde la reducción de la carga respecto al control (sin lavado con cepillado y sin segundo lavado) fue de un 28% [(reducción de aproximadamente 0,9 Log (ufc/g)]. Sin embargo, tiempos de lavado más prolongados, 10 ó 15 minutos no disminuyeron el recuento de mesófilos aerobios. En cuanto a la presencia de hongos y levaduras, se observó como la realización de un segundo lavado disminuyó significativamente la carga, entre un 10-45% en función del tiempo de lavado.

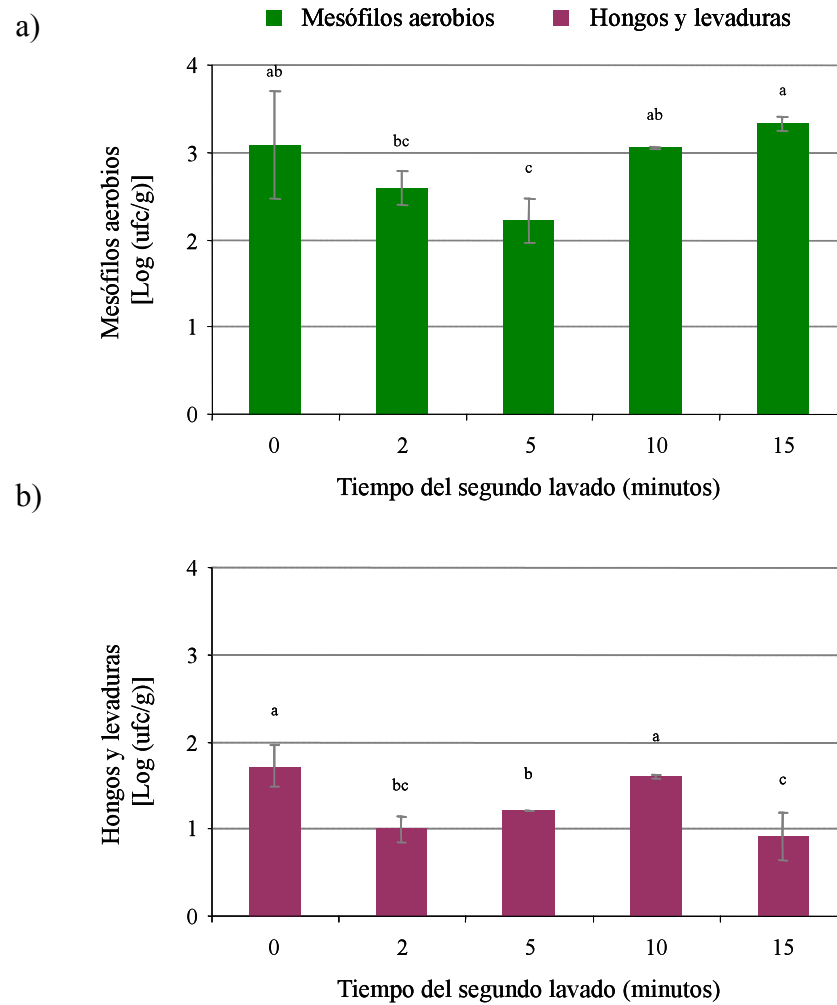


Figura 52. Recuento total de microorganismos mesófilos aerobios (a) y de hongos y levaduras (b) en yuca procesada mínimamente tras un primer lavado con cepillado y un segundo lavado por inmersión (2, 5, 10 ó 15 minutos) con agua clorada (200 mg/l de hipoclorito sódico, pH 6,0-7,5 a 5°C) de la yuca entera. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tiempos de lavado, para cada grupo de microorganismos.

En un estudio realizado por Lund *et al.* (2005a) se empleó en la operación de lavado de yuca procesada mínimamente distintos agentes higienizantes [(hipoclorito sódico y dicloro-s-triazinatriona sódica (Sumaveg®)], distintos tiempos de inmersión de los trozos (10 ó 15 minutos) y se evaluó si al ajustar el pH del agua clorada a 6,0 se producía una disminución de la carga microbiológica del tubérculo. Antes de evaluar los distintos agentes higienizantes y los tiempos

de inmersión del producto pelado y troceado, la yuca entera fue lavada con agua sin clorar para eliminar la suciedad que quedaba adherida a la superficie. Estos autores observaron que empleando hipoclorito sódico a dos concentraciones (100 mg/l y 200 mg/l) se producía una reducción de la carga microbiana de aproximadamente 3 Log (ufc/g) en los microorganismos mesófilos aerobios y de 2 Log (ufc/g) en los aerobios psicrófilos, en las bacterias lácticas y en los hongos y levaduras. Además, determinaron que el ajuste del pH a 6,0 de la disolución de hipoclorito sódico es necesario para que la operación de higienización sea eficaz.

En el presente estudio se comprobó si un tercer lavado por inmersión podría reducir aún más la carga microbiana inicial. Así, se evaluó un tercer lavado adicional con 10 l agua/kg de yuca, a una concentración de 200 mg/l hipoclorito sódico a 5°C de 5 minutos de duración después de cada uno de los tiempos ensayados en el segundo lavado (2+5, 5+5, 10+5, 15+5 minutos) (Figura 53a y 53b). Se observó que cuando se realizaron dos lavados de la yuca, posteriores al lavado con cepillo, de 5 minutos de duración cada uno (5+5 minutos) el recuento de mesófilos aerobios y de hongos y levaduras se redujo en un 45 y un 87% respectivamente [en ambos casos con una reducción de 1,5 Log (ufc/g)], en relación a la carga inicial del control (sin lavado). Hay que señalar que, en todos los casos, los niveles de microorganismos aerobios mesófilos cumplieron con la normativa española para el recuento en el día de fabricación en “comidas preparadas envasadas a base de vegetales crudos” (Real Decreto 3484/2000). Dado que la realización del tercer lavado de la yuca entera redujo de forma importante la carga microbiana se pudo concluir que, antes del procesado, es necesario realizar tres lavados de la yuca entera en agua clorada: el primero con cepillado y los dos lavados posteriores por inmersión en baño de agua durante 5 minutos cada uno de ellos.

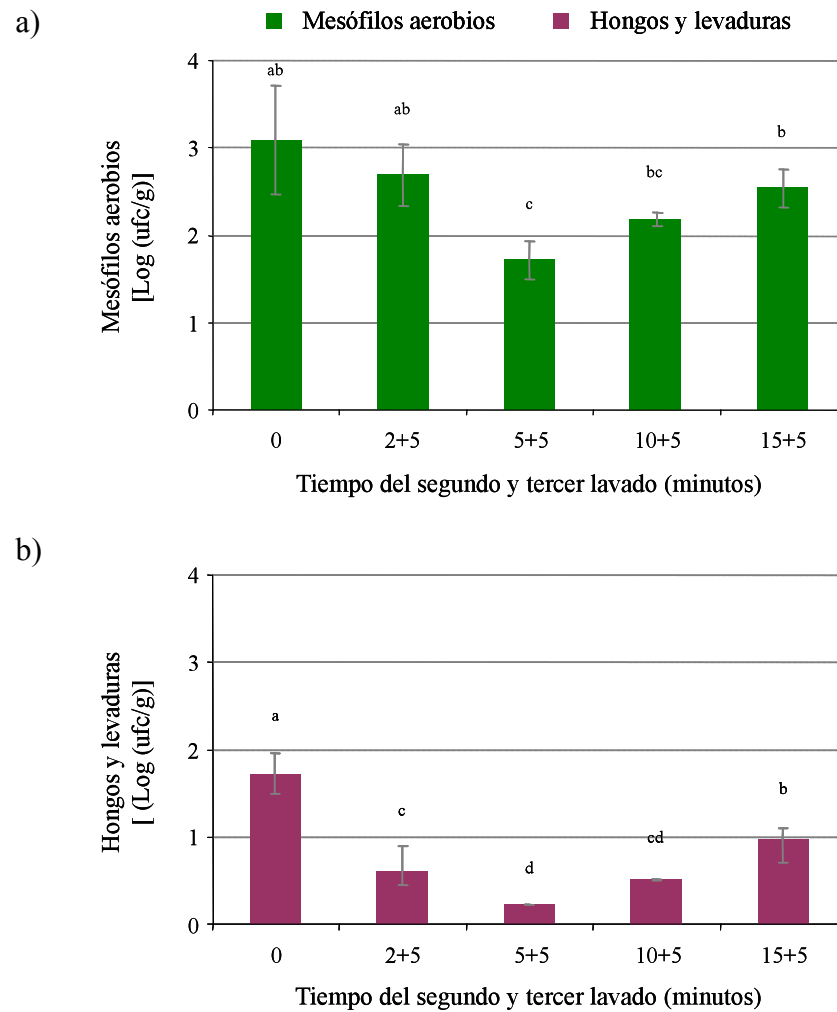


Figura 53. Recuento total de microorganismos mesófilos aerobios (a) y de hongos y levaduras (b) en yuca procesada mínimamente tras un primer lavado con cepillado, un segundo lavado por inmersión (2, 5, 10 ó 15 minutos) y seguido de un tercer lavado por inmersión durante 5 minutos con agua clorada (200 mg/l de hipoclorito sódico, pH 6,0-7,5 a 5°C) de la yuca entera.

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tiempos de lavado, para cada grupo de microorganismos.

Una vez optimizados el número y los tiempos de lavado de la yuca entera, y teniendo en cuenta que el agua es un bien escaso en nuestra sociedad, fue necesario determinar el volumen de agua necesario en la etapa de lavado del tubérculo entero. Según Yildiz, (1994), el volumen de agua recomendado para el lavado de los productos antes del procesado mínimo está en torno a 5-10 l/kg de producto. Se utilizó un diseño experimental “Central composite

design 2ⁿ + star” centrado en las caras para llevar a cabo la optimización del volumen de agua necesario en cada uno de los lavados, en el que se tomaron como factores variables el volumen de agua para el lavado acompañado de cepillado, el volumen de agua utilizado en el segundo lavado y el volumen de agua del tercer lavado. El valor mínimo y máximo entre los que se estudiaron dichos factores fueron 5 y 10 l agua/kg yuca, respectivamente. En todos los casos se utilizó agua clorada a una concentración de 200 mg/l hipoclorito sódico, a un pH de 6,0-7,5 y una temperatura de 5°C. En la [Figura 54a](#) y [54b](#) se representan los diagramas de Pareto, que nos dan una idea de si el volumen del agua de lavado tiene un efecto sobre la carga de microorganismos de la yuca (ANOVA). Se observó que el volumen de agua utilizado en los distintos lavados no influyó de manera significativa en el recuento de hongos y levaduras ($p < 0,05$). La carga de mesófilos aerobios sólo se vio afectada por el volumen de agua utilizado en el tercer lavado.

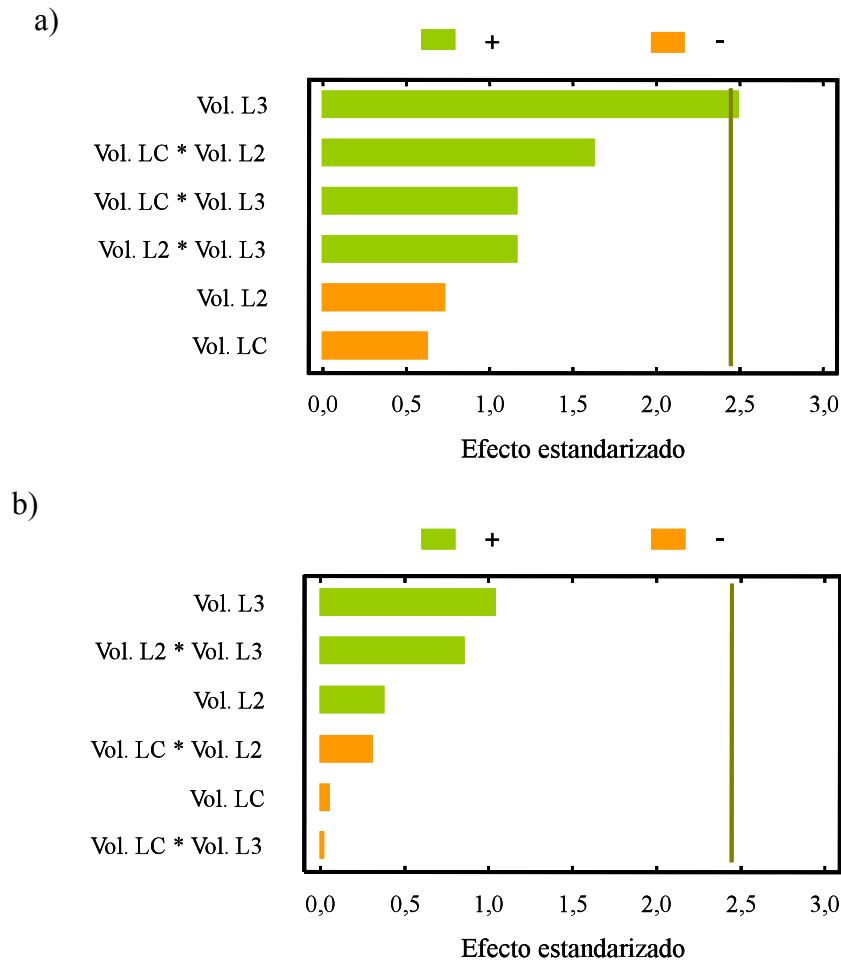


Figura 54. Diagramas de Pareto: influencia del volumen del agua de lavado sobre el recuento total de mesófilos aerobios (a) y sobre el recuento total de hongos y levaduras (b). Vol, Volumen de agua (l/kg yuca); LC, lavado con cepillado; L2, segundo lavado; L3, tercer lavado.

Si se observan los gráficos superficie-respuesta, obtenidos a partir del diseño experimental, se ve una tendencia a disminuir la carga de microorganismos mesófilos aerobios cuando aumenta el volumen de agua en el lavado con cepillado (Figura 55). Así, se produjo una disminución de aproximadamente 0,8 Log (ufc/g) cuando la yuca se lavó con 10 l agua/kg yuca respecto a cuando se lavó con 5 l agua/kg yuca. También se produjo una reducción de la población de dichos microorganismos cuando se utilizaron los volúmenes de agua en el tercer lavado más bajos, con una reducción de 1 Log (ufc/g) cuando en este lavado se utilizaron

5 l agua/kg yuca respecto a los volúmenes más altos (Figura 56). Por lo tanto, se estableció que en la etapa de lavado de la yuca entera ha de emplearse 10 l agua/kg yuca en el primer lavado que va acompañado de cepillado, mientras que en el segundo y tercer lavado el volumen puede reducirse a 5 l agua/kg yuca.

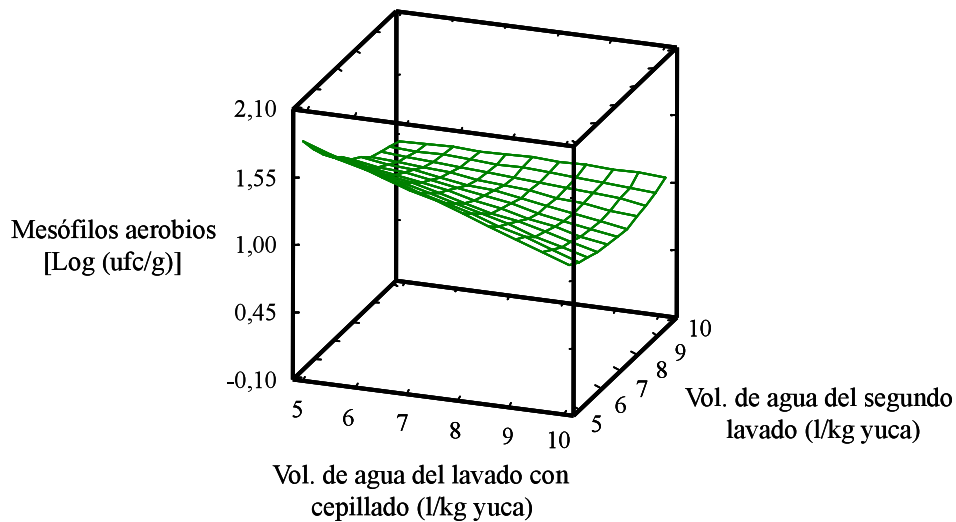


Figura 55. Efecto del volumen de agua en el lavado con cepillado y en el segundo lavado (manteniendo el volumen de agua del tercer lavado fijo en 5 l/kg yuca) sobre el recuento total de mesófilos aerobios.

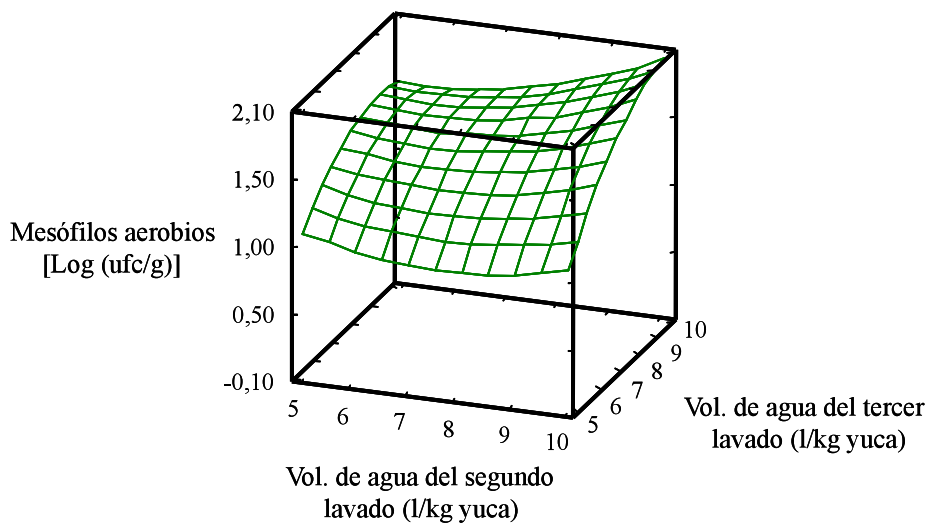
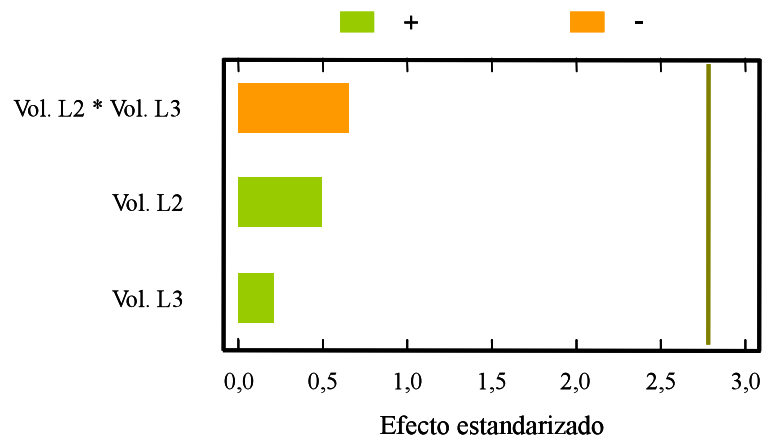


Figura 56. Efecto del volumen de agua en el segundo y en el tercer lavado (manteniendo el volumen de agua del lavado con cepillado fijo en 10 l/kg yuca) sobre el recuento total de mesófilos aerobios.

Se evaluó una segunda reducción del volumen de agua en el segundo y tercer lavado sin que ésta perjudicara la calidad microbiológica alcanzada. Para dichos lavados se modificaron los volúmenes entre 2,5 y 5 l agua/kg yuca. El volumen de agua del segundo y tercer lavado no influyó significativamente en el recuento de mesófilos aerobios y de hongos y levaduras (Figura 57a y 57b), de tal manera que se seleccionó para el segundo y tercer lavado el volumen de 2,5 l agua/kg producto.

a)



b)

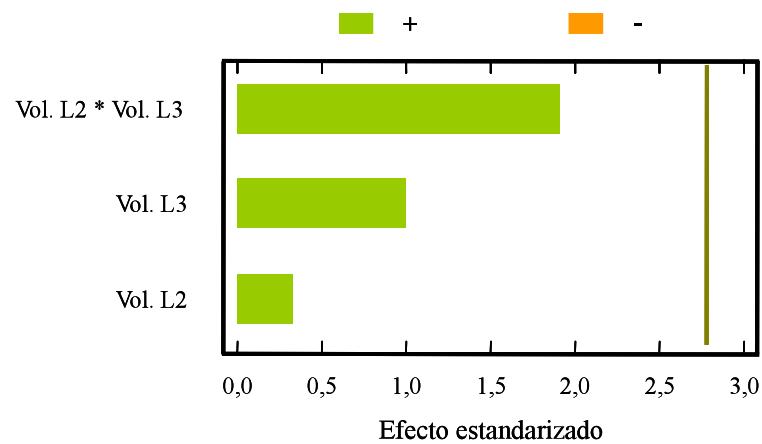
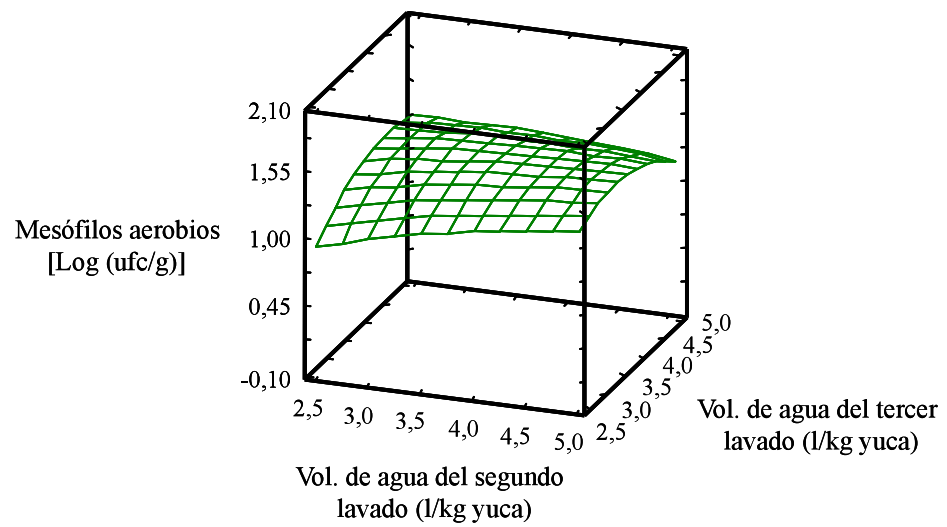


Figura 57. Diagramas de Pareto: influencia del volumen del agua de lavado sobre el recuento total de mesófilos aerobios (a) y sobre el recuento total de hongos y levaduras (b). Vol, Volumen de agua (l/kg yuca); L2, segundo lavado; L3, tercer lavado.

A pesar de que el volumen de agua de los distintos lavados no influyó en la carga microbiana de la yuca se representaron las gráficas superficie-respuesta para el recuento total de microorganismos mesófilos aerobios y de hongos y levaduras al emplear en el segundo y tercer lavado volúmenes de agua que oscilaron entre 2,5 y 5 l agua/kg yuca. A medida que disminuyó el volumen de agua del segundo lavado el recuento de mesófilos aerobios disminuyó ligeramente [aproximadamente 0,5 Log (ufc/g)] (Figura 58a). En la Figura 58b se observa que a medida que aumenta el volumen de agua del segundo lavado disminuye el recuento de hongos y levaduras [aproximadamente 0,5 Log (ufc/g)]. En cambio, en el tercer lavado a medida que disminuye el volumen de agua disminuye también el recuento de éstos [aproximadamente 1 Log (ufc/g)].

a)



b)

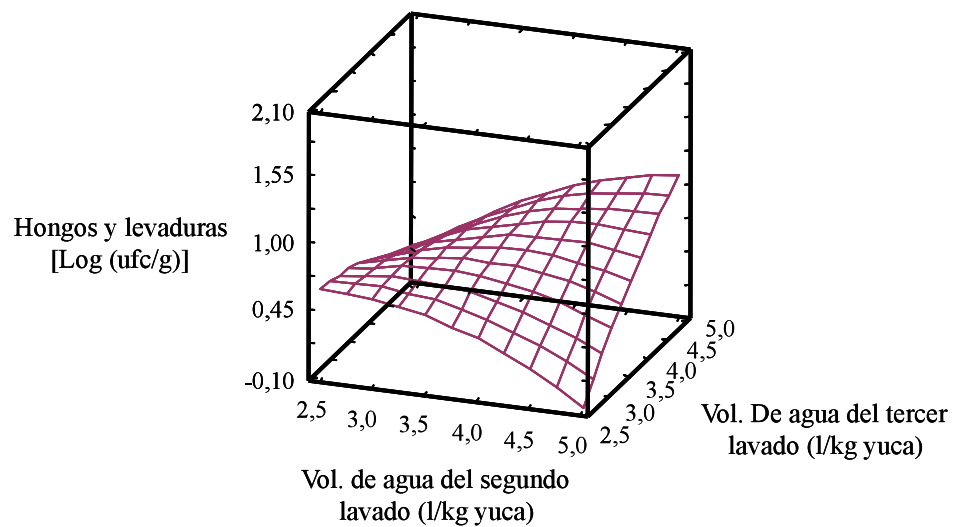


Figura 58. Efecto del volumen de agua en el segundo y en el tercer lavado (manteniendo el volumen de agua del lavado con cepillado fijo en 10 l/kg yuca) sobre el recuento total de mesófilos aerobios (a) y hongos y levaduras (b).

Debido a que el efecto del volumen de agua en el segundo y tercer lavado sobre la carga microbiana no fue significativo y a los resultados obtenidos se

estableció que el volumen de agua empleado tanto en el segundo como tercer lavado fuera de 2,5 l agua/kg yuca.

Por último, se quiso determinar el efecto higienizante del agua clorada sobre la calidad microbiológica de la yuca mínimamente procesada. Para ello se comparó la carga de microorganismos de la yuca una vez que fue lavada cuando al agua de lavado se le añadió hipoclorito sódico, a una concentración de 200 mg/l, y cuando no se le añadió. Se observó que cuando se realizaron los tres lavados con agua sin clorar, la carga total de mesófilos aerobios fue similar a la que presentó cuando se lavó la yuca con agua clorada [$2,8 \pm 0,3$ Log (ufc/g), con una reducción de 1,0 Log (ufc/g) respecto a la carga inicial]. En cambio, cuando se realizó el recuento total de hongos y levaduras se observó que al lavar la yuca con agua clorada el recuento fue significativamente menor en la yuca que había sido lavada con agua clorada que en la que fue lavada en agua sin clorar [$1,2 \pm 0,1$ y $1,7 \pm 0,1$ Log (ufc/g), respectivamente]. Esto confirmó que el uso de un agente higienizante, como el hipoclorito sódico, minimiza la carga microbiana del producto entero antes de ser procesado. Un resultado similar fue descrito por Klaiber *et al.* (2004) en la higienización de zanahorias enteras antes del procesado mínimo. El lavado con agua clorada (200 mg/l, pH 8,0, 10 l agua/kg, 2 minutos, 4°C) disminuyó 0,9-1,4 Log (ufc/g) el recuento total en placa respecto a los tubérculos que fueron lavados en agua. Este efecto reductor también se hizo patente sobre las *Pseudomonas*, bacterias lácticas y Enterobacterias. Además la disminución de la carga microbiana se mantuvo durante los nueve días de conservación refrigerada (4°C)

A modo de conclusión se estableció que el lavado de la yuca entera, antes del procesado, ha de realizarse en tres etapas. La primera de ellas consiste en un lavado por inmersión acompañado de un cepillado del tubérculo, utilizando un volumen de agua de 10 l/kg yuca. Los dos siguientes lavados han de realizarse por inmersión en 2,5 l agua/kg yuca durante 5 minutos. En todos los casos el agua ha

de clorarse con hipoclorito sódico a una concentración de 200 mg/l, a un pH entre 6,0 y 7,5 y una temperatura de 5°C.

4.5. Optimización de la operación de pelado de la yuca

La yuca presenta dificultades a la hora de ser pelada debido a la presencia de una zona situada debajo de la piel, denominada corteza, que se encuentra adherida al parénquima. Es precisamente en la corteza donde se concentran principalmente los glucósidos cianogénicos, por lo que ha de ser eliminada cuidadosamente. La dificultad para separar la corteza del parénquima hizo necesario evaluar distintos tratamientos para ver si se facilitaba dicha operación. Aunque existen diversos métodos de pelado, en la mayoría de las industrias se lleva a cabo mecánicamente, con cuchillas o por abrasión (Abe *et al.*, 1998; Agar *et al.*, 1999).

4.5.1. Evaluación de la operación de pelado con hidróxido sódico (Na OH)

El uso de hidróxido sódico como coadyudante en el pelado de los tubérculos es ampliamente conocido, aunque actualmente se utiliza poco debido a que el pH alcalino daña la estructura química de los pigmentos y altera el color (Axtell y Adams, 1998; Lobo y González, 2005). En esta Tesis Doctoral se evaluó, visualmente, la inmersión de la yuca entera en una disolución de hidróxido sódico al 2% en agua caliente (a 40°C) durante 20 minutos. Se observó que facilitó la operación de pelado debido a que la corteza se desprendió más fácilmente del parénquima que cuando el pelado se hizo normal con cuchillo (sin inmersión en la disolución de hidróxido sódico), aunque el aspecto de la raíz no era deseable desde el punto de vista del consumidor, debido a que presentaba un color amarillento en la superficie del parénquima (Foto 21). Por lo tanto, se descartó la inmersión de la yuca entera en hidróxido sódico como tratamiento que facilita el pelado del tubérculo.



Foto 21. Aspecto de la yuca inmersa en una disolución de hidróxido sódico (izquierda) después del pelado y sin tratar con hidróxido sódico (derecha).

Axtell y Adams (1998) evaluaron la efectividad del pelado de las raíces de yuca, cuando fueron inmersas en distintas disoluciones de hidróxido sódico (10, 15 ó 20%) y durante distintos tiempos de inmersión (de 1 a 6 minutos). Observaron que para cualquiera de las concentraciones evaluadas, si el tubérculo era inmerso durante un periodo corto de tiempo, el pelado de las raíces no era bueno; en cambio cuando emplearon tiempos más largos (10%, 6 minutos; 15%, 5 minutos y 20%, 4 minutos), independientemente de la concentración de hidróxido sódico, los tubérculos quedaron totalmente pelados. Garrote *et al.* (2006) optimizaron el pelado de papas de la variedad “Huincul”. Así, cuando la concentración de hidróxido sódico estuvo comprendida entre 11 y 13%, el tiempo de inmersión del tubérculo entre 5,0 y 5,7 minutos y la temperatura de la disolución entre 90 y 95°C se obtuvo un buen pelado del tubérculo. Los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral concuerdan con los obtenidos por Sánchez y Hernández (1997) cuando establecieron las condiciones óptimas para el pelado alcalino del ocumo (*Xanthosoma sagittifolium* L. Scotch). Estos autores observaron que el pelado fue eficiente sumergiendo el ocumo durante 6,5 a 10 minutos en hidróxido sódico al 15% y 93°C. Aunque se produjo una reacción de ennegrecimiento de la superficie del tubérculo durante el tratamiento, este aspecto

se evitó sumergiendo el tubérculo durante dos minutos en una disolución de ácido cítrico al 1% seguido por una inmersión en una disolución de bisulfito potásico. Dicho pelado alcalino no influyó en la calidad organoléptica del tubérculo.

4.5.2. Evaluación de la temperatura del tratamiento térmico

La aplicación de tratamientos térmicos podría ser una opción complementaria al pelado con cuchillo que facilitara la operación de pelado de la yuca; además, se ha descrito que este tratamiento puede inactivar enzimas como la peroxidasa y la polifenoloxidasas que se encuentran implicadas en el desarrollo del estriado vascular. Según nuestro conocimiento, los tratamientos térmicos suaves no se han utilizado para facilitar el pelado de los tubérculos. Sin embargo, Vilpoux y Cereda (2003) recomiendan, como técnica para mejorar el pelado de la yuca, conservar el tubérculo en agua cuando éste es recolectado y hasta que es procesado. Además, existe escasa bibliografía en la que se evalúe la inmersión de tubérculos enteros en agua caliente antes del procesado con el objetivo de mejorar la calidad del producto mínimamente procesado. Correia *et al.* (2005) describieron como el tratamiento de las zanahorias a 35°C durante 60 minutos, antes del pelado y cortado de éstas, mejoró ligeramente la luminosidad y la firmeza del tubérculo mínimamente procesado, disminuyendo la exudación. El tratamiento a 50°C durante 2 minutos de zanahorias peladas, pero no cortadas, tuvo un efecto antimicrobiano similar al del tratamiento higienizante con cloro (Klaiber *et al.*, 2005). Sin embargo, la utilización conjunta de un tratamiento con cloro y uno térmico disminuyó ligeramente la calidad sensorial de la zanahoria rallada. El tratamiento térmico sí ha sido más ampliamente utilizado para mantener la calidad sensorial y mejorar la vida útil de tubérculos procesados como la yuca (Bezerra *et al.*, 2002a), las zanahorias (Carrasco y Cisneros-Zevallos, 2002; Rico *et al.*, 2007) y las papas (Severini *et al.*, 2003a). Además hay estudios realizados en papas mínimamente procesadas en los que aplican tratamientos con microondas al

producto una vez cortado (Severini *et al.*, 2003b; Severini *et al.*, 2004). En esta Tesis Doctoral se evaluó el efecto de la aplicación de tratamientos térmicos (30, 40 ó 50°C), modificando la temperatura del agua de lavado del tubérculo entero, en la facilidad de pelado y en la calidad de la yuca mínimamente procesada.

El porcentaje de pulpa procesable fue de $61 \pm 14\%$, independientemente de la temperatura del agua de lavado evaluada. Sin embargo, a pesar de que no existieron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento en el pelado entre los tubérculos que habían sido tratados con calor durante el lavado y los que se lavaron en agua a 5°C (control), la variabilidad de la pulpa procesable de los primeros ($63 \pm 6\%$) fue mucho menor que la que se produjo cuando se pelaron los tubérculos lavados en agua fría para los que el rendimiento varió desde un 0% hasta un 94% ($56 \pm 14\%$). El tiempo dedicado al pelado de la yuca fue similar en la yuca tratada a 30 y 50°C y en el control, $4,0 \pm 1,7$ min/kg; sin embargo, en los tubérculos que fueron inmersos en agua a 40°C el tiempo de pelado fue significativamente menor, $2,2 \pm 0,4$ min/kg. Así, mientras que el tiempo de pelado de los tubérculos tratados a 40°C en ningún caso ($n = 20$) superó los 2,9 min/kg, cuando se pelaron los tratados a 30 y 50°C o los lavados a 5°C, en alrededor del 65% de las yucas dicho tiempo fue superior a los 3 min/kg. Por lo tanto, desde el punto de vista tecnológico, el pelado de la yuca se facilitaría si, durante el lavado de ésta, se diera un tratamiento térmico de 40°C durante 20 minutos, ya que se tendrían tiempos de pelado adecuados con un buen rendimiento en pulpa procesable.

El porcentaje de barquetas y de trozos de yuca que presentaron vascularización aumentó en todos los tratamientos evaluados durante la conservación (Figura 59a y 59b). En ambos casos, la incidencia de este deterioro se manifestó a partir de los dos días de conservación en los tubérculos que habían sido inmersos en agua a 30 y 40°C, mientras que en el control (sin tratamiento térmico) y 50°C se produjo un día más tarde. A los ocho días de conservación, el

control fue el que menor porcentaje de barquetas y de trozos de yuca vascularizados presentó, un 76 y 57%, respectivamente, mientras que en el resto de tratamientos el porcentaje de barquetas y de trozos vascularizados fue mayor, el 100 y 96%, respectivamente, en los tubérculos inmersos en agua a 40 y 30°C, y 94 y 76%, respectivamente, en los que estuvieron inmersos en agua a 50°C.

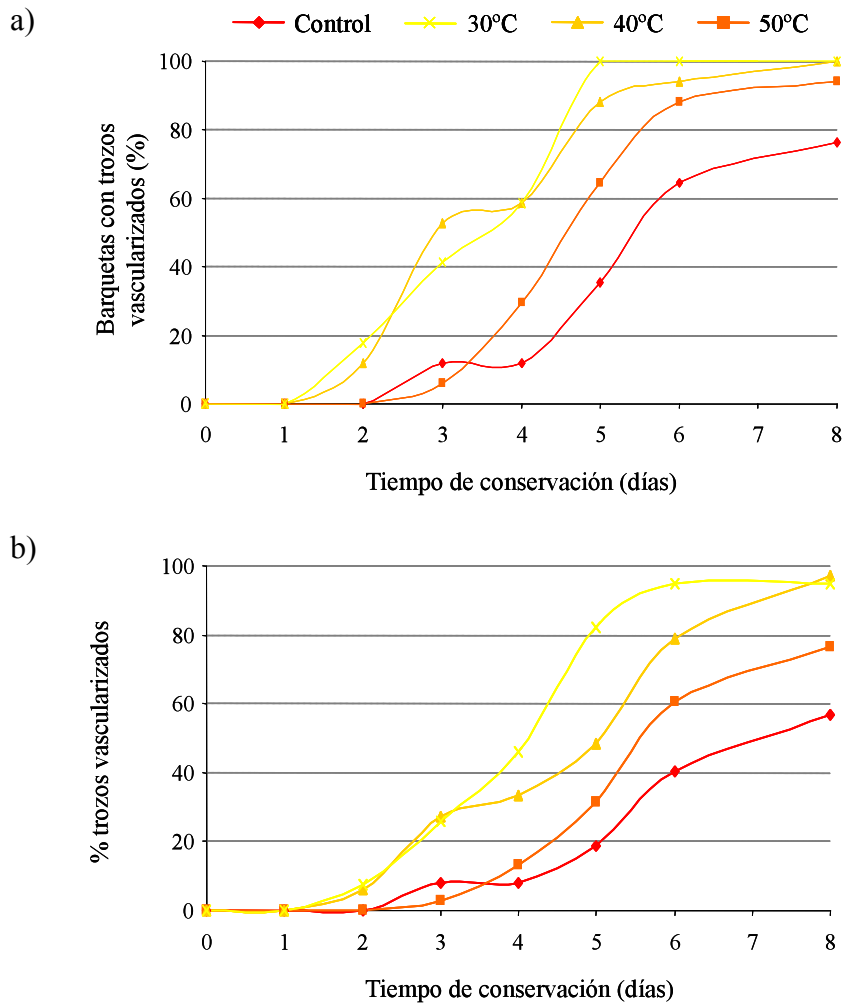


Figura 59. Efecto del tratamiento térmico durante el lavado de la yuca entera sobre el estriado vascular del tubérculo procesado mínimamente conservado durante ocho días a 5°C: barquetas con trozos vascularizados (a) y trozos vascularizados (b).

En la Figura 60 se muestra la severidad de este deterioro fisiológico en los cuatro tratamientos evaluados durante el periodo de conservación. La severidad

del estriado vascular aumentó durante la conservación, independientemente de la temperatura del agua de lavado, aunque en el control y en el tratamiento de 50°C, la severidad fue menor (aproximadamente la mitad) que la que presentaron los tubérculos que fueron inmersos en agua a 30 y 40°C. Bezerra *et al.* (2002a) señalaron que el tratamiento de las raíces de yuca (después del pelado) mediante inmersión en agua hirviendo durante 30 segundos proporcionó un control eficaz del deterioro fisiológico postcosecha del tubérculo mínimamente procesado, aumentando su vida útil un 66% en relación a los tubérculos no tratados.

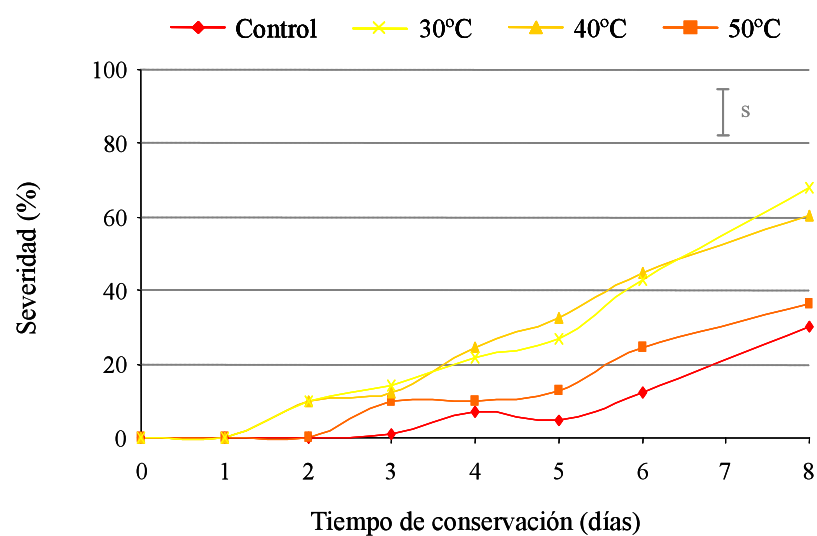


Figura 60. Efecto del tratamiento térmico durante el lavado de la yuca entera sobre la severidad del estriado vascular del tubérculo procesado mínimamente conservado durante ocho días a 5°C.

Se intentó determinar si la inmersión del tubérculo en agua caliente afectaba fisiológicamente al tubérculo. Para ello se midió la tasa respiratoria y la producción de etileno inicial de la yuca entera y de la yuca una vez que había sido procesada. A la hora del procesado los trozos del control (sin tratamiento térmico) fueron los que menor tasa respiratoria presentaron, $4,9 \pm 0,5$ ml CO₂/kg*h mientras que en el resto de tratamientos fue de $8,2 \pm 1,0$ ml CO₂/kg*h. Tres horas después del procesado, la tasa respiratoria de la yuca tratada a 30 y 50°C era

similar a la de la yuca control ($4,0 \pm 0,4$ ml $\text{CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$); sin embargo, la producción de dióxido de carbono de los tubérculos inmersos en agua a 40°C fue estadísticamente diferente a la del resto de tratamientos ($5,0 \pm 0,4$ ml $\text{CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$). Esta tendencia se observó hasta siete horas después de que se había producido el corte de la yuca (respiración 1,6 veces mayor en la yuca tratada a 40°C), para posteriormente estabilizarse a las nueve horas después del corte en $2,9 \pm 0,5$ ml $\text{CO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$.

Tanto en el producto entero como en el recién procesado no se detectó producción de etileno en el momento del corte.

Dado que la yuca respira poco y la permeabilidad del *film* utilizado en el envasado fue alta, la composición de la atmósfera en el interior de las barquetas apenas se modificó durante los ocho días de conservación de la yuca mínimamente procesada. El contenido de oxígeno y dióxido de carbono en el interior de los envases que contenían trozos de yuca del control y trozos de las que habían sido inmersas en agua a 30 , 40 y 50°C fue similar durante la conservación a 5°C (Figura 61a y 61b). Klaiber *et al.* (2005) evaluaron el efecto del lavado de zanahorias enteras, a las que previamente se les había eliminado la piel, en agua caliente a 50°C o a 4°C , durante 2 minutos. Observaron que para ambos tratamientos se produjo una disminución de la concentración de oxígeno y un incremento de dióxido de carbono en el interior de las bolsas de zanahoria durante los nueve días de conservación refrigerada. Sin embargo, el lavado a 50°C con agua clorada produjo un mayor consumo de oxígeno de la zanahoria rallada que el lavado a 4°C con agua clorada. También en zanahoria mínimamente procesada, Correia *et al.* (2005) describieron un ligero incremento en la tasa respiratoria (mayor acumulación de dióxido de carbono) de los tubérculos que fueron sometidos antes del pelado y troceado, a un tratamiento térmico suave.

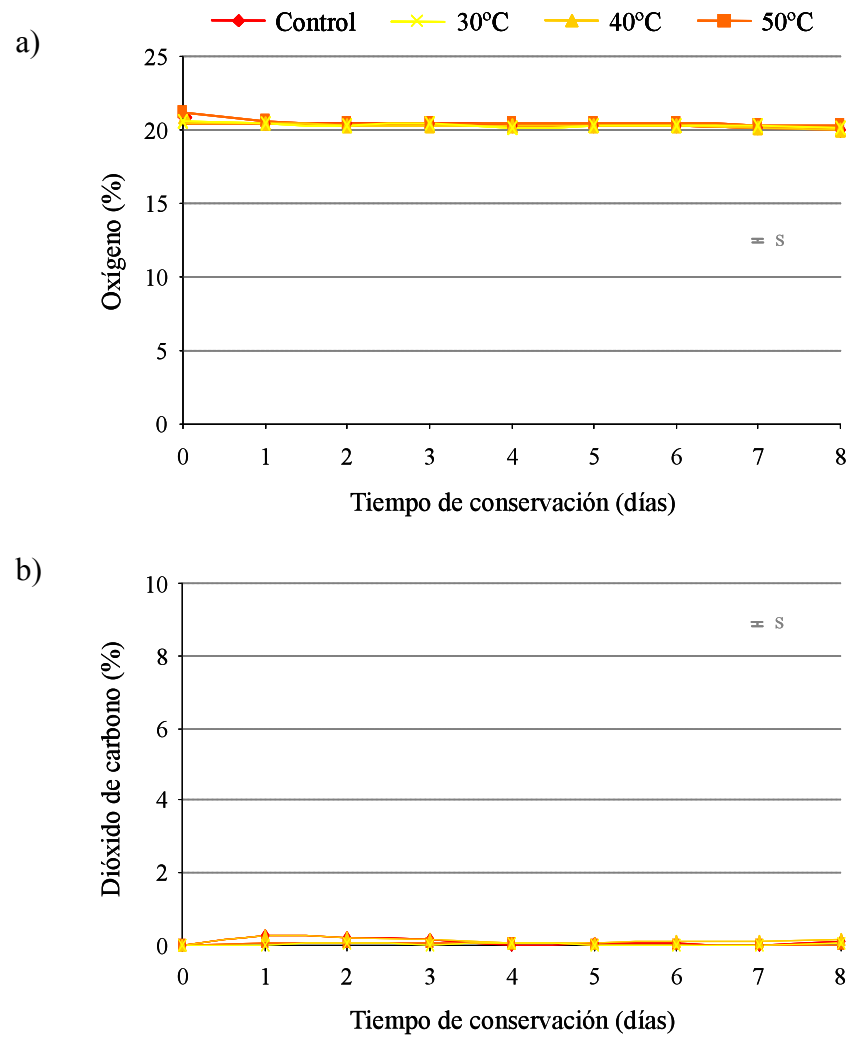


Figura 61. Acumulación de: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) en el interior de las barquetas de yuca procedente de tubérculos pretratados en agua a distintas temperaturas y conservada posteriormente durante ocho días a 5°C.

La pérdida de peso del tubérculo fue semejante en todos los tratamientos evaluados. Desde que la yuca fue procesada hasta el sexto día de conservación, el porcentaje de pérdida de peso se mantuvo constante ($0,015 \pm 0,011\%$); en cambio, al octavo día, se produjo un ligero incremento, independientemente de la temperatura del agua en la que fueron inmersos los tubérculos, siendo el porcentaje de pérdida del $0,050 \pm 0,018\%$.

Independientemente de la temperatura del agua en la que fue inmerso el tubérculo antes del procesado, no se observó deshidratación superficial en los trozos de yuca durante el periodo de conservación.

La luminosidad de los trozos de yuca proveniente de tubérculos enteros inmersos en agua a distintas temperaturas se muestra en la [Figura 62a](#). En el momento del procesado la luminosidad fue semejante en todos los tratamientos (87 ± 1). Sin embargo, después de dos días de conservación, la luminosidad de los trozos de yuca del control y de los tratados a 50°C aumentó para mantenerse constante hasta el octavo y el sexto día, respectivamente. La luminosidad de la yuca que había sido tratada térmicamente a 50°C descendió al final de la conservación para alcanzar valores similares a los obtenidos inicialmente. La luminosidad de los trozos provenientes de la yuca entera que fue inmersa en agua a 30 y 40°C no se modificó hasta el sexto y octavo día de conservación, respectivamente. Por lo tanto, este parámetro fue ligeramente inferior en estos tubérculos que en el control a partir del segundo día de conservación. Correia *et al.* (2005) observaron que la inmersión de zanahorias enteras antes del procesado en agua entre $35\text{-}40^{\circ}\text{C}$ durante 80 minutos mantuvo la luminosidad de los tubérculos procesados durante 20 días de conservación. Estos autores asociaron este beneficio, en cuanto al mantenimiento del color de la zanahoria, con la posible reducción de la actividad de la enzima polifenoloxidasas o a la posible disminución en la oxidación del β -caroteno debido al cambio en la concentración interna en oxígeno y dióxido de carbono del tubérculo causado por el tratamiento térmico. El índice de blanqueamiento de los trozos de yuca fue similar en todos los tratamientos durante el primer día de conservación (82 ± 1) ([Figura 62b](#)). En los trozos inmersos en agua a 40 y 30°C se mantuvo constante durante los seis primeros días de conservación (82 ± 2), mientras que al octavo día sufrió un ligero descenso (79 ± 3). El control fue el que mayor índice de blanqueamiento presentó el último día de conservación (83 ± 1). Klaiber *et al.* (2005) al evaluar el efecto

del lavado de zanahorias enteras, a las que previamente se les había eliminado la piel, a 50°C o a 4°C, durante dos minutos, observaron que la inmersión en agua caliente de las zanahorias no modificó el índice de blanqueamiento ni la cromaticidad de las tiras de zanahorias durante los nueve días de conservación refrigerada.

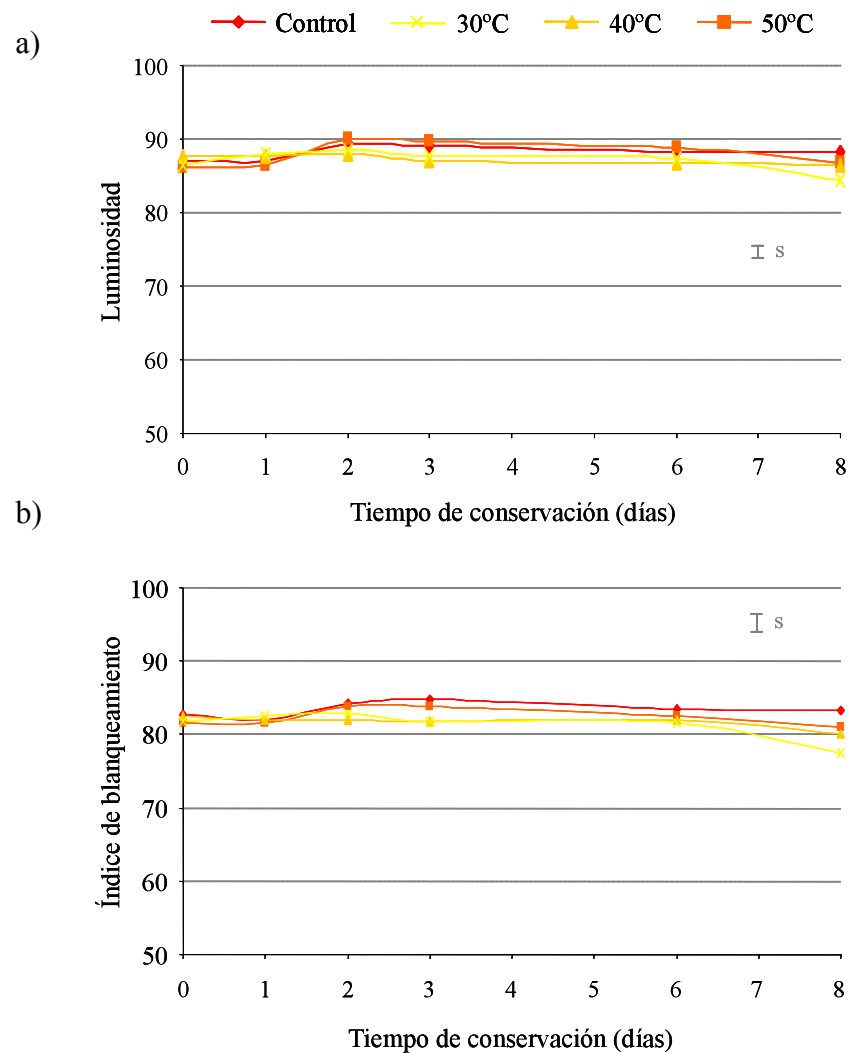


Figura 62. Luminosidad (a) e índice de blanqueamiento (b) de la yuca mínimamente procesada y conservada durante ocho días a 5°C procedente de yuca inmersa en agua a distintas temperaturas.

En la [Figura 63](#) se muestra la modificación del color de la yuca, que fue inmersa antes del procesado en agua a distintas temperaturas, durante ocho días de

conservación a 5°C. En todos los tratamientos se modificó el color durante la conservación, aunque, a los ocho días, fue mayor en los trozos de yuca que procedían de tubérculos que habían sido inmersos en agua a 30°C (aproximadamente el doble, $4,9 \pm 2,6$), respecto al resto de tratamientos que presentaron una modificación significativamente menor ($2,5 \pm 1,5$). En este caso, las diferencias observadas en el desarrollo de estriado vascular entre tratamientos (superior en la yuca tratada a 30 y 40°C) tampoco se vio reflejada en modificaciones importantes en el color del parénquima.

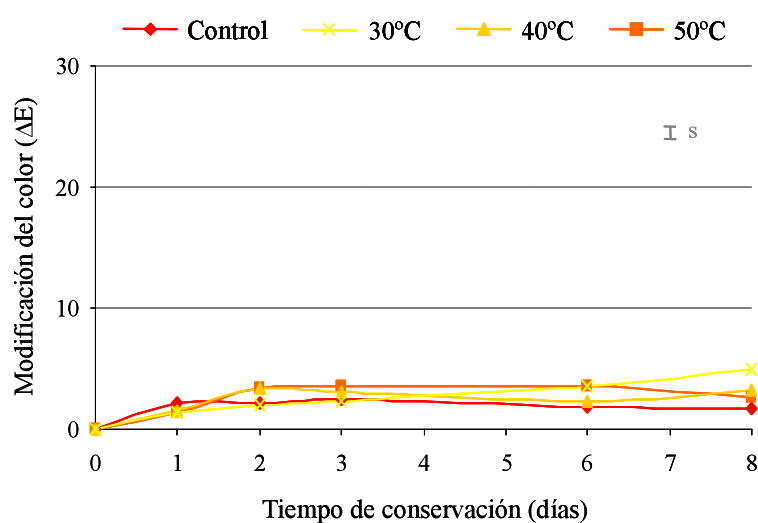


Figura 63. Modificación del color (ΔE) de la yuca mínimamente procesada y conservada durante ocho días a 5°C procedente de yuca inmersa en agua a distintas temperaturas.

Las actividades de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa durante el periodo de conservación se muestran en las Figuras 64a y 64b. La actividad peroxidasa inicial de los tubérculos que fueron inmersos en agua a 5°C (control) y a 30°C fue entre 1,4 y 1,8 veces superior a la actividad de la yuca pretratada a las temperaturas más altas. A lo largo de la conservación, en el control y en los tubérculos que habían sido pretratados a 30 y 40°C se produjo una disminución de la actividad de la enzima peroxidasa. En cambio, en la yuca que fue inmersa en agua a 50°C la actividad peroxidasa se mantuvo constante.

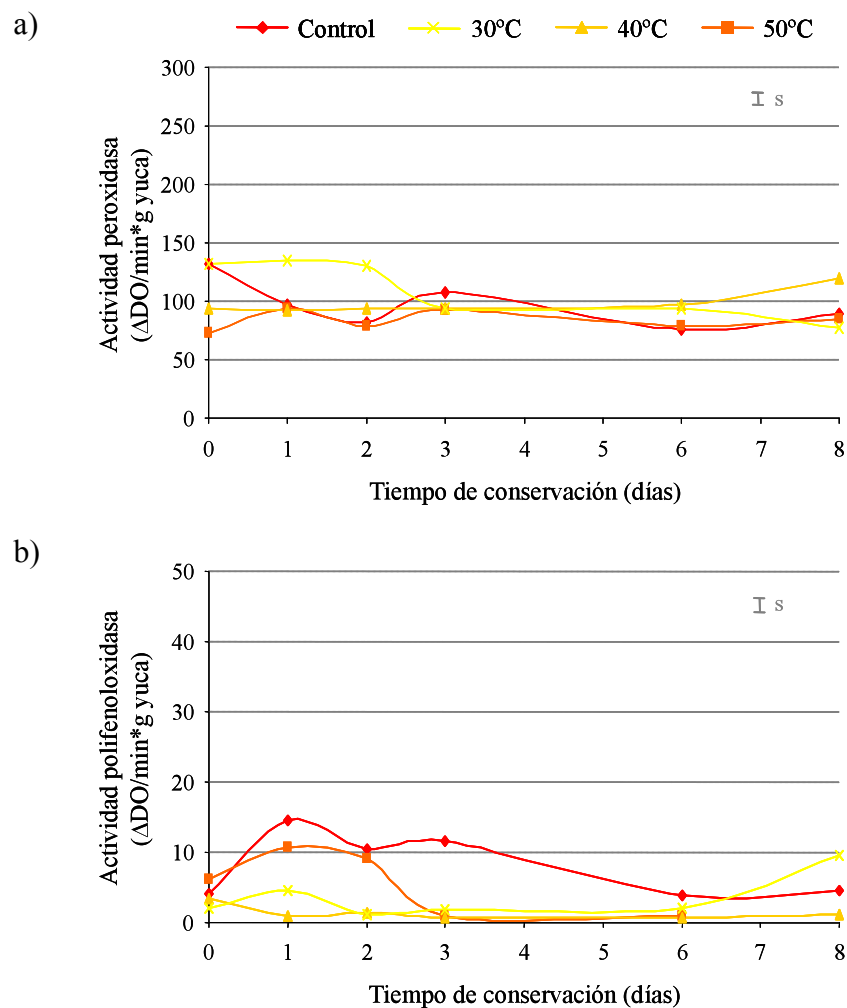


Figura 64. Actividad de la enzima peroxidasa (a) y polifenoloxidasas (b) de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C procedente de yuca inmersa en agua a distintas temperaturas.

Por otra parte, la actividad de la enzima polifenoloxidasas del control aumentó de forma importante (3,5 veces) durante el primer día después del procesado. A partir de este día hasta el sexto día de conservación, se mantuvo constante para posteriormente descender el último día a valores similares a los obtenidos inicialmente. Este incremento también se produjo, en menor medida (aumento de 2,4 veces el valor inicial), en la yuca que había sido inmersa en agua a 30°C. Sin embargo, en este caso la actividad polifenoloxidasas sufrió un importante aumento el último día de conservación, siendo entre 2 y 9 veces mayor

que la obtenida en el resto de tratamientos. En los trozos procedentes de yuca que había sido inmersa en agua a 40 y 50°C se produjo una disminución significativa de la actividad de la enzima polifenoloxidasa durante los ocho días de conservación. Tampoco, la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa y su evolución durante la conservación de la yuca mínimamente procesada parece explicar las diferencias en el desarrollo del estriado vascular observados entre tratamientos. Además, hay que señalar que en las condiciones de temperatura evaluadas, con aplicación de temperaturas entre 30 y 50°C durante 20 minutos, no se inactivó la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Bezerra *et al.* (2002a). Después de tratar la yuca de la variedad “Baianinha”, después del pelado, en agua hirviendo durante 30 segundos no observaron inactivación de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa. Sin embargo, estos autores sí describieron la eficacia de este tratamiento en el retardo de la aparición del estriado vascular que fue controlado hasta después de 15 días de conservación a 8°C, frente a los tubérculos no tratados térmicamente en los que, a los nueve días de conservación, aparecieron haces vasculares ennegrecidos. A pesar de que las enzimas responsables del pardeamiento no fueron inactivadas, sí se encontraron diferencias en la actividad de la polifenoloxidasa entre tratamientos (raíces tratadas térmicamente y no tratadas). Así, las raíces no tratadas y tratadas presentaron actividad enzimática después de 11 y 18 días de almacenamiento, respectivamente.

Durante el periodo de conservación no se detectó la aparición de manchas amarillas en la yuca mínimamente procesada, independientemente de la temperatura del agua en la que fue inmerso el tubérculo entero.

Recién procesada la yuca, la mayor firmeza (**Figura 65**) la presentaron los trozos procedentes de los tubérculos que habían sido inmersos en agua a 40°C (66 ± 3 N), seguidos de los de 30°C (61 ± 2 N) y por último de los del control y 50°C,

(cuya firmeza fue similar, 50 ± 2 N). Durante la conservación, en los trozos de yuca del control y de los tubérculos pretratados a 50°C la firmeza del parénquima aumentó; en cambio, en los trozos provenientes de la yuca pretratada a 40°C disminuyó ligeramente. En consecuencia, después de ocho días de conservación a 5°C , la firmeza de la yuca pretratada a 50°C fue la más alta (68 ± 2 N); la de la yuca pretratada a 40°C fue de 63 ± 3 N y la de la tratada a 30°C y a 5°C fue de 61 ± 3 N.

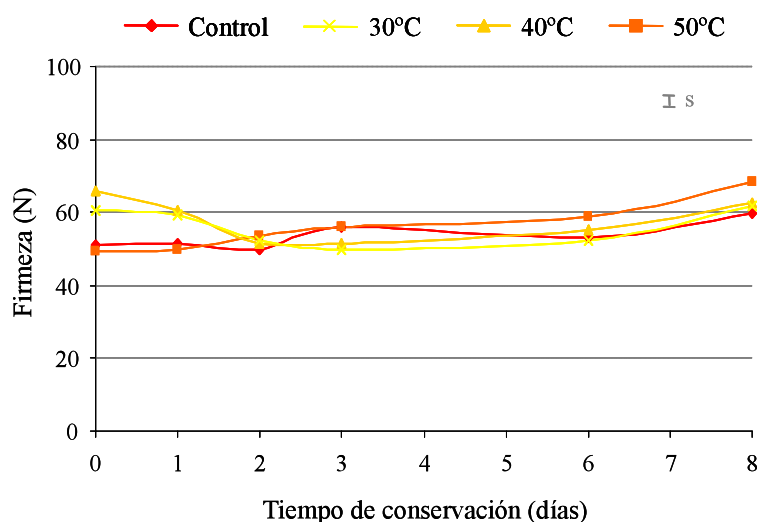


Figura 65. Firmeza (N) de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C proveniente de yuca inmersa en agua a distintas temperaturas.

Klaiber *et al.* (2005) observaron, a los nueve días de conservación a 4°C , un incremento de un 15% de la firmeza de tiras de zanahorias procedentes de tubérculos enteros que habían sido lavados en agua caliente a 50°C o a 4°C durante 2 minutos. Sin embargo, dicho incremento, que pudo ser debido a la deshidratación y lignificación de las tiras de zanahorias, fue similar en todos los tratamientos. Por lo tanto, el tratamiento térmico no afectó de forma significativa a la firmeza de este tubérculo. Sin embargo, Correia *et al.* (2005) observaron que al lavar las zanahorias enteras con agua caliente (entre 30 y 60°C durante un tiempo de inmersión entre 10 y 100 minutos) se produjo una pérdida de la firmeza

del producto troceado en rodajas, posiblemente debido a la activación de la enzima pectin-metil-esterasa. En las zanahorias que no fueron tratadas con calor también se produjo un incremento de la firmeza aunque este aumento fue asociado a la mayor deshidratación del tubérculo.

En el momento del procesado el control (yuca entera inmersa en agua a 5°C) fue el que mayor contenido en glucósidos cianogénicos presentó, 113 ± 6 mg/kg yuca, frente al resto de los tubérculos que habían sido pretratados en los que el contenido fue menor (aproximadamente la mitad), 52 ± 11 mg/kg yuca. Esto parece indicar, claramente, que el tratamiento con calor favoreció la eliminación de parte de los glucósidos cianogénicos contenidos en el parénquima de la yuca. Este comportamiento ya había sido descrito por Cereda *et al.* (1990). Dichos autores describieron una reducción del contenido en ácido cianhídrico en yuca de la variedad “Pioneira” que había sido sometida a un tratamiento en agua hirviendo durante tres minutos antes de ser congelada. El contenido en glucósidos cianogénicos se mantuvo constante durante la conservación refrigerada de la yuca mínimamente procesada en todos los tratamientos, excepto en la yuca que había sido inmersa en agua a 40°C que aumentó aproximadamente el doble, desde 44 ± 6 mg/kg yuca en el momento del procesado, hasta 85 ± 11 mg/kg yuca el último día de conservación.

El panel de catadores evaluó el aspecto general y el color de los trozos de yuca sin cocinar procedentes de tubérculos que habían sido inmersos en agua a distintas temperaturas (Figuras 66a y 66b). En ambos parámetros detectaron una pérdida de calidad a los seis días de conservación en las yucas que fueron inmersas en agua a 50°C y 30°C, mientras que en las procedentes del control y 40°C no la detectaron. Durante los tres primeros días de conservación los panelistas valoraron el aspecto general y el color con la misma puntuación todos los tratamientos (por encima del límite de aceptación). Al sexto día de conservación, evaluaron el control de manera similar a los días anteriores mientras

que en los tubérculos que habían sido pretratados térmicamente detectaron una disminución en la calidad sensorial de la yuca cruda.

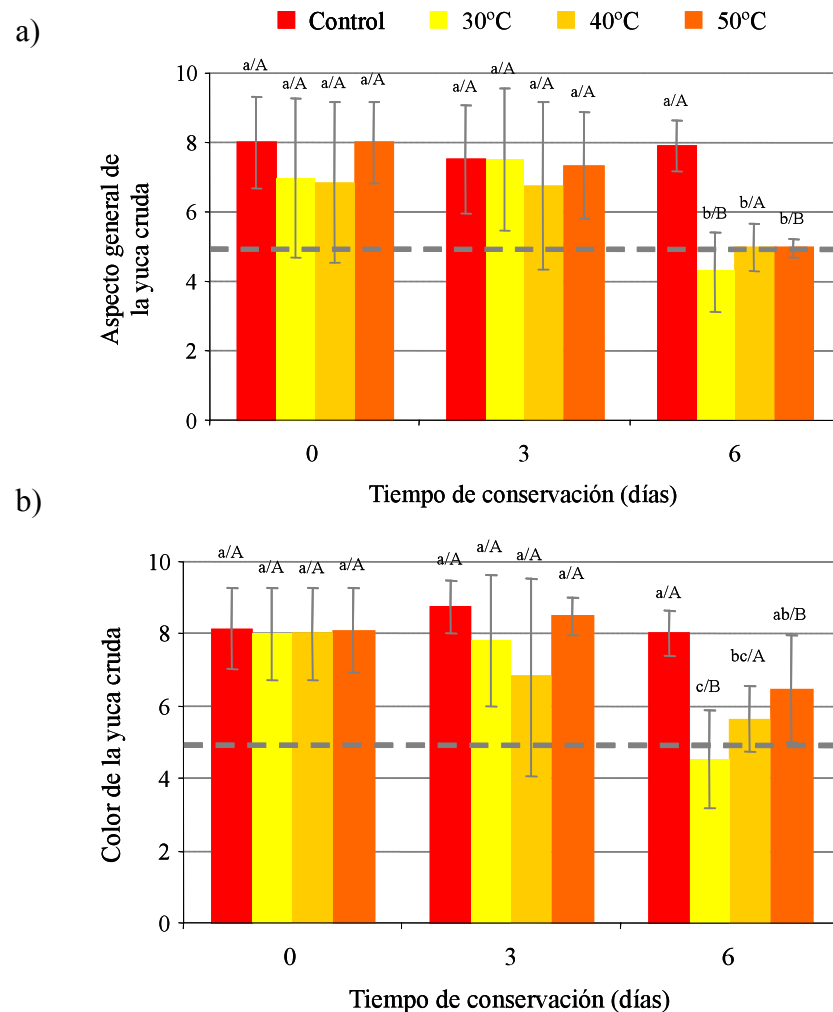


Figura 66. Aspecto general (a) y color (b) de la yuca cruda inmersa en agua a distintas temperaturas conservada durante seis días a 5°C

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas del agua de lavado o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

El panel de catadores también evaluó la presencia o no de estriado vascular y, al tercer día de conservación, un 33% de ellos detectaron estriado vascular en la yuca que no había sido tratada térmicamente y un 50% de los catadores detectaron dicho deterioro en los tubérculos pretratados térmicamente. Sin embargo, a los

seis días de conservación el 100% de los catadores detectaron el estriado vascular en todos los tratamientos evaluados.

Ya desde el momento del procesado de la yuca el 25% de los catadores observaron deshidratación en los tubérculos que no habían sido pretratados térmicamente, mientras que un 62% de los mismos lo detectaron en el resto de tratamientos. A partir del tercer día de conservación el 83% del panel de cata describió la presencia de este tipo de deterioro en la yuca cruda procedente de tubérculos tratados térmicamente, en cambio en los tubérculos no tratados (control) el porcentaje de catadores que lo observó fue menor (66%). Después de siete días de conservación el 100% de los catadores detectó una deshidratación ligera en los trozos de yuca procedentes de tubérculos tratados y no tratados térmicamente.

Mientras que al tercer día de conservación un 67% de los catadores comprarían las barquetas con trozos de yuca procedentes de tubérculos tratados térmicamente con agua a 40°C, un 100% de los mismos comprarían las barquetas con trozos de yuca procedente del resto de tratamientos evaluados. En cambio, al séptimo día de conservación, ninguno de los componentes del panel de cata compraría las barquetas con trozos de yuca cruda provenientes de tubérculos tratados con agua a 30°C, mientras que los trozos pretratados con agua a 40 y 50°C, lo comprarían el 25% y el 75%, respectivamente. Por otro lado, la yuca sin tratar térmicamente (control) fue la mejor valorada, ya que durante el periodo de conservación a 5°C, el 100% de los catadores comprarían dicho tubérculo.

En el mismo día en el que se procesó la yuca el panel de catadores no detectó diferencias en el aspecto general y el color de los trozos de yuca cocinada en los distintos tratamientos evaluados. La valoración del aspecto general de la yuca cocinada fue similar en todos los tratamientos durante la conservación, excepto en los trozos procedentes de yucas que habían sido inmersas en agua a 40°C, en los que los catadores detectaron una disminución de la calidad del

aspecto de los trozos después de tres días del momento del procesado. En cuanto al color de los trozos de yuca cocinados, los catadores no detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados en la yuca recién procesada ni a los tres días de conservación. En cambio, se produjo un empeoramiento en la valoración del color en los trozos de yuca procedentes de tubérculos que habían sido inmersos en agua a 40°C (desde $7,4 \pm 1,8$ el primer día hasta $3,2 \pm 1,5$ el sexto día de conservación, respectivamente). No se detectaron sabores extraños en la yuca cocinada durante el periodo de conservación independientemente de la temperatura del agua en la que fueron inmersos los tubérculos enteros. Además, el 75% de los panelistas eligieron el control, que no había sido pretratado térmicamente, como el producto con mejor aspecto y color desde el punto de vista comercial y culinario.

Como conclusión, el tratamiento térmico de la yuca antes del pelado y troceado fue negativo desde el punto de vista de la calidad del tubérculo mínimamente procesado, a pesar de las mejoras en el rendimiento tecnológico observadas para los tubérculos tratados a 40°C. Por lo tanto, el lavado de la yuca entera ha de hacerse a 5°C, dado que la severidad del estriado vascular fue menor que en la yuca pretratada térmicamente y además un porcentaje alto de catadores la seleccionaron por su buen aspecto general, tanto en el producto crudo como en el cocinado.

4.6. Optimización de distintos recubrimientos comestibles para evaluar la calidad de yuca mínimamente procesada

Los recubrimientos comestibles crean una barrera protectora semipermeable en la superficie del producto que ayuda a reducir la respiración, a retardar la pérdida de agua, los cambios de color y textura, a retener los compuestos volátiles y a reducir el crecimiento microbiano. Por tanto, su empleo en tubérculos procesados mínimamente puede ralentizar algunos procesos de degradación habituales en estos productos como son el pardeamiento enzimático observado en papas (Baldwin *et al.*, 1996) y en batatas (Waimaleongora-Ek *et al.*, 2008) o la deshidratación, el blanqueamiento superficial y la formación de lignina observados en zanahorias (Carrasco y Cisneros-Zevallos, 2002; Henríquez y Evangelista, 2006; Martín-Diana *et al.*, 2006; Puschmann *et al.*, 2007; Villalobos-Carvajal *et al.*, 2009). En este trabajo de Tesis Doctoral se evaluó si la aplicación de recubrimientos comestibles disminuía la incidencia y severidad del estriado vascular que se producía en la yuca que se procesaba mínimamente. Para ello se realizó un seguimiento visual diario y un análisis organoléptico del producto. De esta manera, se pudo determinar si los recubrimientos aplicados minimizaban la pérdida de calidad de este tubérculo procesado durante la conservación y si alargaban la vida comercial del producto. Se aplicaron y compararon diferentes recubrimientos comestibles compuestos por polisacáridos (carboximetilcelulosa al 2% y quitosano al 0,1 ó 0,5%), extractos de algas marinas (carragenano al 1%) o ceras (cera de carnauba al 2,5, 5 ó 7,5%).

A los cuatro días de conservación el 33 y el 27% de las barquetas cuyos trozos habían sido recubiertos con quitosano al 0,1% y carragenano, respectivamente, presentaron vascularización. En menor medida (9-18%) el estriado vascular se hizo patente en los tubérculos recubiertos con carnauba al 2,5% y con quitosano al 0,5%. Sin embargo, en el resto de tratamientos la

vascularización no se mostró hasta los cinco días de conservación (Figura 67), incluido el control (sin recubrimiento).

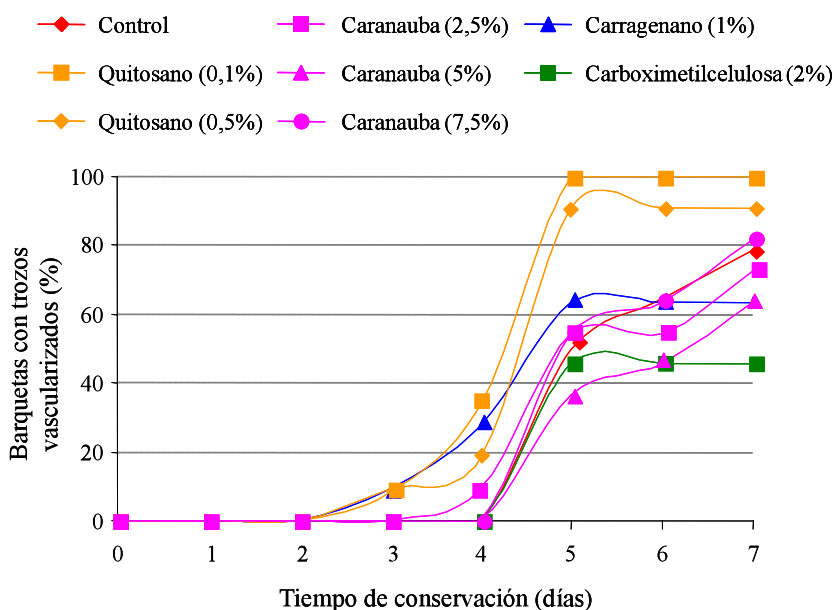


Figura 67. Porcentaje de barquetas con trozos vascularizados de yuca a los que se les aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fueron conservados durante siete días a 5°C.

Mientras que a los siete días de conservación el 100% y el 91% de las barquetas que contenían trozos de yuca recubiertos con quitosano al 0,1% y al 0,5%, respectivamente, presentaron vascularización, sólo el 79% de las barquetas con trozos no recubiertos (control) presentaron dicho deterioro. Sin embargo, sólo el 45 o el 64% de las barquetas con trozos recubiertos con carboximetilcelulosa o con carragenano o carnauba al 5% presentaron vascularización. Teniendo en cuenta que en las barquetas había más de un trozo de yuca, también se tuvo en cuenta el número de trozos que presentaron estriado vascular (Figura 68a). A los siete días de conservación el porcentaje de trozos vascularizados era del 85% cuando se recubrieron con quitosano 0,1%, mostrando una severidad del $42 \pm 12\%$. El 71% de los trozos a los que no se les había aplicado un recubrimiento presentaron estriado vascular pero poco severo, mientras que alrededor del 48 ó 40% de los recubiertos con carragenano o carboximetilcelulosa, respectivamente,

presentaron una severidad del 43 ± 14 ó $30 \pm 17\%$ respectivamente (Figura 68a). En la Figura 68b se observa como a partir del tercer día, los trozos de yuca tratados con quitosano 0,1%, 0,5% y carragenano presentaron una severidad ($13 \pm 5\%$) superior a la del resto de tratamientos, que fue del 0%.

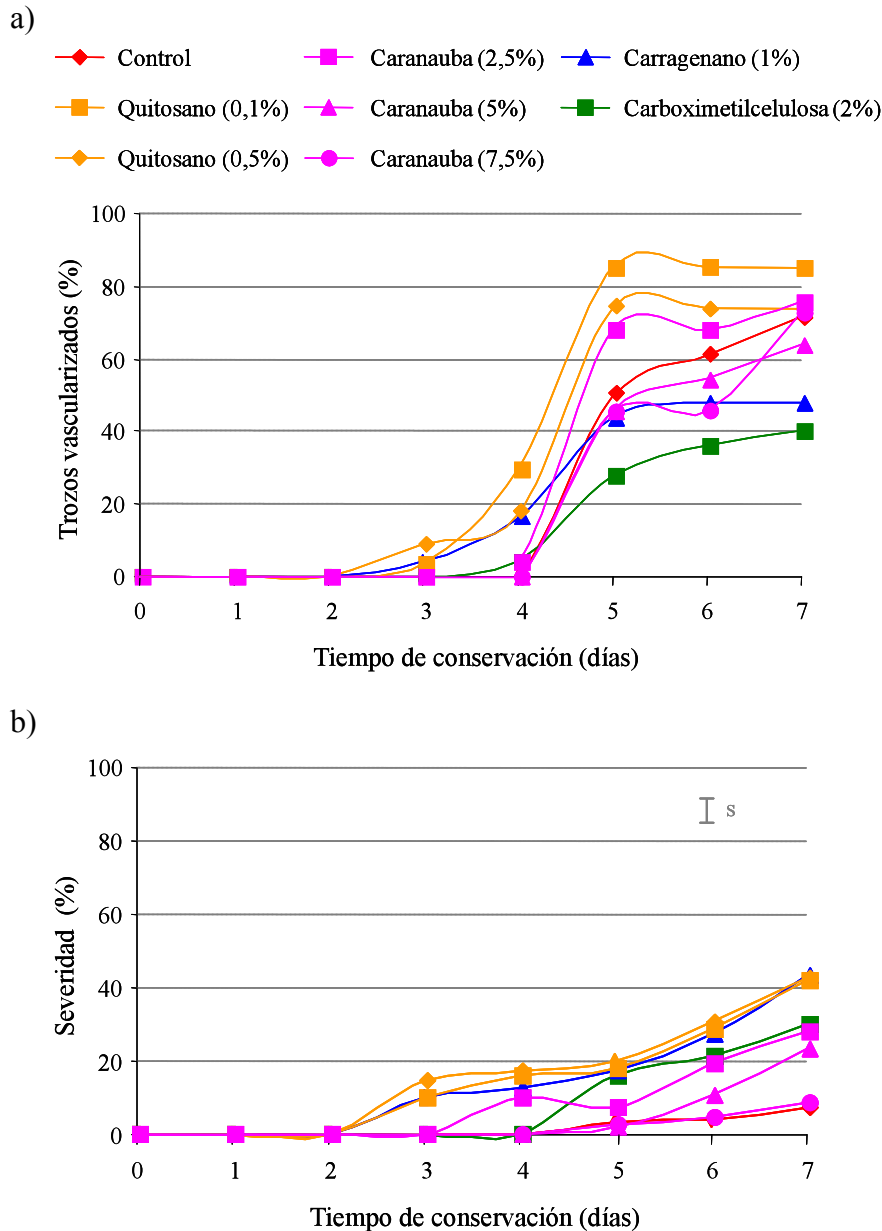


Figura 68. Porcentaje de trozos de yuca vascularizados (a) y severidad del deterioro (%) (b) en los trozos de yuca a los que se les aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fueron conservados durante siete días a 5°C.

A partir del cuarto día, es cuando comenzó a incrementarse la severidad hasta el séptimo día de conservación, independientemente del tratamiento aplicado. Los tratamientos con quitosano al 0,1% y 0,5% fueron los que mayor severidad presentaron al séptimo día de conservación, $43 \pm 13\%$, que, en el caso del control, fue como ya se dijo menor ($7 \pm 8\%$). Según nuestro conocimiento, no se ha publicado ningún trabajo en el que se evalúe la aplicación de recubrimientos comestibles en yuca procesada mínimamente. Sin embargo, Oliveira *et al.* (2003) estudiaron la aplicación de ácido cítrico como agente antioxidante para evitar el desarrollo de estriado vascular en la yuca de la variedad “IAC 576-70” procesada. Observaron que a los 28 días de conservación, las raíces del control (sin tratamiento antipardeamiento) presentaron oscurecimiento, en cambio a las que se les aplicó el tratamiento con ácido cítrico a la concentración de 50 g/l durante 5, 10 ó 15 minutos no presentaron dicho deterioro. En el caso de las papas procesadas mínimamente, Baldwin *et al.* (1996) describieron que el recubrimiento comestible a base de celulosa (carboximetilcelulosa) no fue eficaz en la reducción del desarrollo de pardeamiento en papas de la variedad “Russet” mínimamente procesadas. En cambio, la aplicación de la combinación de carboximetilcelulosa con antioxidantes como el ácido ascórbico (0,5%) y terbutil-hidroquinona (0,02%) y acidulantes como el ácido cítrico (junto con otros aditivos conservantes) retrasó el pardeamiento de la papa aumentando la vida útil de este producto en una semana respecto al tubérculo lavado en agua o con las disoluciones antipardeamiento en agua (sin combinación con el recubrimiento). Por otro lado, Waimaleongora-Ek *et al.* (2008) evaluaron la aplicación de quitosano al 1% en cubos de batata de 13 mm de grosor de la variedad “Beauregard” y observaron que al aplicar dicho recubrimiento se mantuvo mejor el color de la superficie del tubérculo durante 17 días de conservación a 4°C con respecto a los tubérculos procesados a los que no se les aplicó el recubrimiento. En la [Foto 22](#) se observa el aspecto que presentaron los trozos de yuca el último día de conservación.

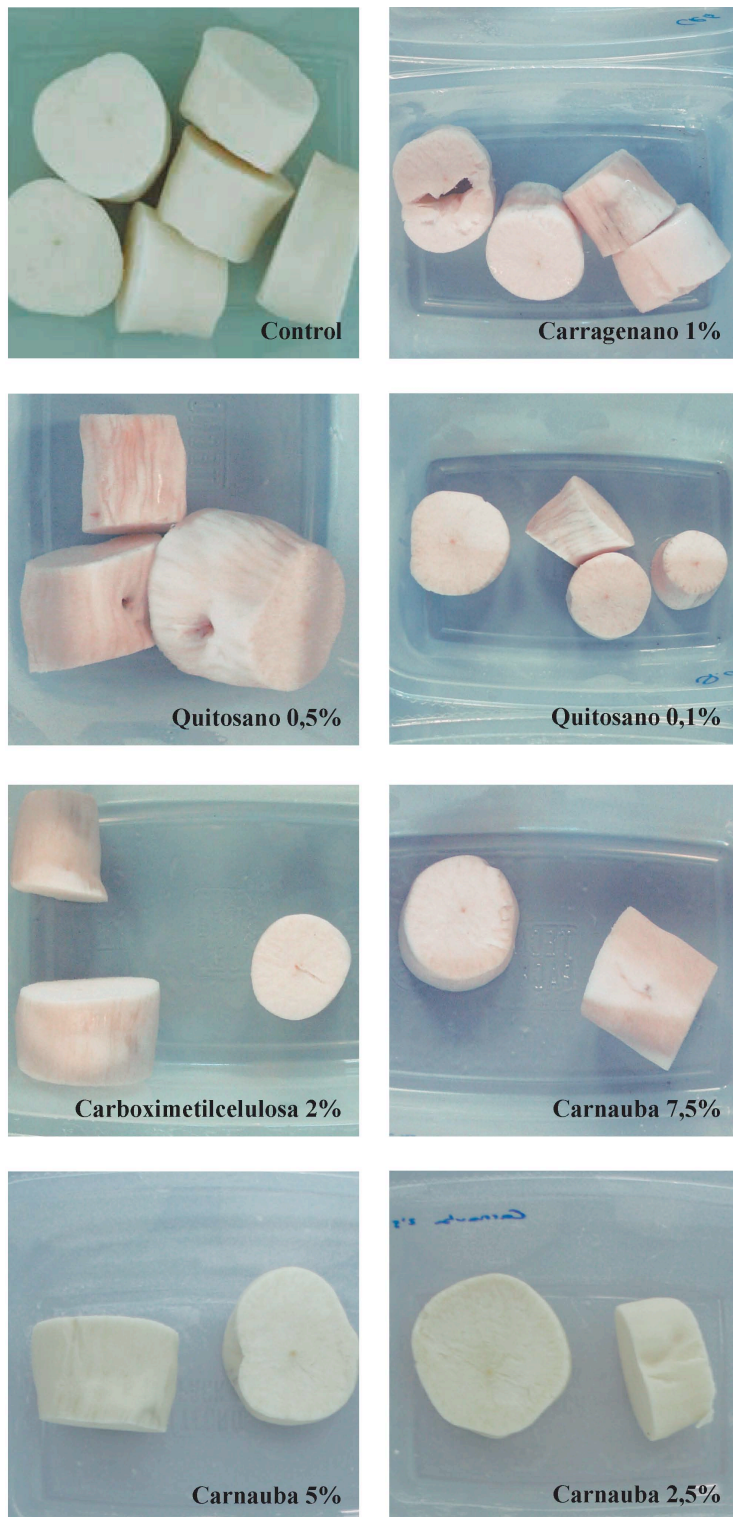


Foto 22. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles sobre el aspecto de los trozos de yuca procesados después de siete días de conservación a 5°C.

El análisis sensorial de la yuca se realizó al día siguiente del procesado y a los siete días de conservación refrigerada. Los catadores debían evaluar el aspecto general de los trozos de yuca procesados mínimamente en crudo y cocinados, así como detectar la existencia o no de sabores extraños. El primer día de conservación el aspecto general de la yuca cruda recubierta con carragenano fue el peor puntuado (Figura 69). Dicha valoración ($4,2 \pm 0,8$) estuvo por debajo del límite de aceptación, a diferencia del resto de los tratamientos que tuvieron valoraciones medias entre 7,4 y 8,8.

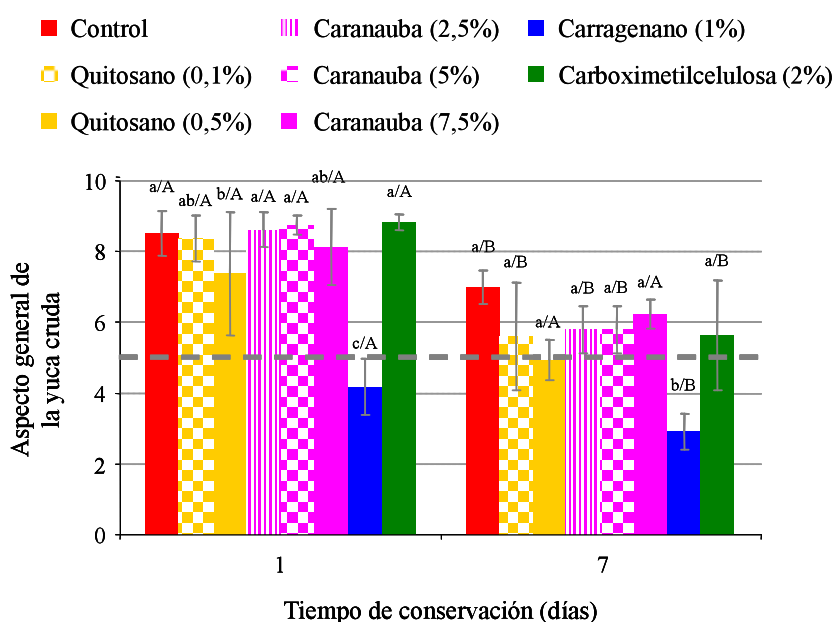


Figura 69. Aspecto general de los trozos de yuca mínimamente procesados, a los que se les aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fueron conservados durante siete días a 5°C.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos o días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

A los siete días de conservación, no se observaron diferencias entre tratamientos, excepto en los trozos recubiertos con carragenano que fueron, nuevamente, los peor valorados. Salvo en los tubérculos tratados con carragenano

($2,9 \pm 0,9$) y quitosano al 0,5% ($4,9 \pm 0,6$), el aspecto general de los trozos siguió manteniéndose aceptable a los siete días de conservación.

La escasa valoración de los trozos de yuca crudos recubiertos con carragenano al 1%, tanto el primer día como al quinto día de conservación, fue debido a que la aplicación de dicho recubrimiento tuvo importantes problemas desde el punto de vista tecnológico, ya que el carragenano se volvió gelatinoso cuando la aplicación se hizo en cámaras de conservación a 5°C, quedando en la superficie de los trozos de yuca restos gelatinizados de dicho recubrimiento (Foto 23).



Foto 23. Efecto de la aplicación de carragenano al 1% sobre el aspecto de los trozos de yuca procesados después de un día de conservación a 5°C.

El primer día de conservación, ninguno de los catadores comprarían las barquetas con trozos de yuca cruda a los que se les aplicó carragenano al 1%, un 67% de los mismos comprarían las barquetas con trozos recubiertos por quitosano al 0,5%, un 83% de los componentes del panel de cata comprarían las barquetas con trozos de yuca recubiertos por carnauba al 7,5%, mientras que un 100% de los catadores comprarían las barquetas con trozos de yuca control y a los que se les aplicó el resto de recubrimientos. En cambio, a los siete días de conservación, ninguno de los catadores compraría las barquetas con tubérculos recubiertos con

carragenano, quitosano al 0,1 y 0,5% y carboximetilcelulosa. Los trozos de yuca cruda recubiertos por carnauba 2,5, 5 y 7,5% y los que no fueron recubiertos (control) fueron los mejor valorados por el panel de cata durante la conservación a 5°C, ya que el 100% de los catadores comprarían dichos tubérculos (Figura 70).

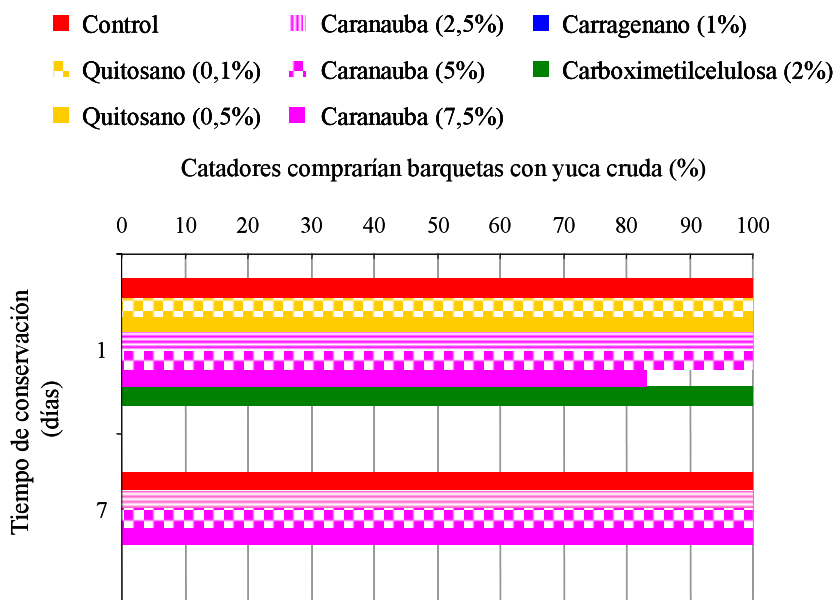


Figura 70. Catadores (%) que comprarían barquetas con trozos de yuca cruda a los que se les aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fueron conservados durante siete días a 5°C.

Martín-Diana *et al.* (2006) compararon el lavado con agua clorada junto con la aplicación de distintas concentraciones de suero de leche (0,5, 1,5 y 3%) en rodajas de zanahorias. En la valoración sensorial (aspecto general, blanqueamiento superficial y aceptabilidad general), los panelistas se decantaron por las raíces tratadas con las concentraciones más bajas de suero; en cambio en las rodajas tratadas con suero al 3% o sin recubrimiento la valoración fue peor. Sin embargo, los catadores no detectaron diferencias entre tratamientos cuando evaluaron la textura y la presencia de olores extraños.

A diferencia de lo que ocurría con el producto crudo, en la yuca cocinada los catadores valoraron por encima del límite de aceptación (entre 7,0 y 8,8) la yuca

de todos los tratamientos al día siguiente de procesar las raíces. A los siete días de conservación se observó una disminución de la aceptabilidad en los trozos a los que se les aplicó como recubrimiento comestible el quitosano al 0,5 y 0,1%, carboximetilcelulosa y carnauba al 5%. El resto de tratamientos fueron valorados de manera similar el primer y último día de conservación. Los trozos recubiertos con carragenano fueron valorados por los panelistas, el primer día de conservación, por encima del límite de aceptabilidad ($7,0 \pm 1,8$); en cambio, el último día de conservación la aceptación de éste fue peor, llegando a estar ligeramente por debajo del límite de aceptabilidad ($4,9 \pm 0,6$) (Figura 71).

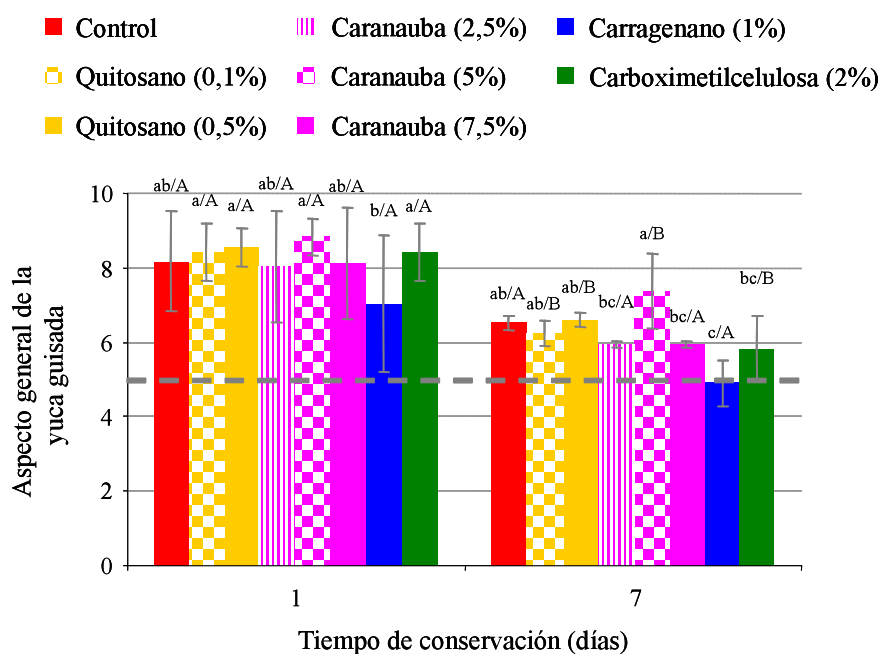


Figura 71. Aspecto general de los trozos de yuca cocinada, a los que se les aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fueron conservados durante siete días a 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos o días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

El primer día de conservación los catadores detectaron la presencia de sabores extraños en casi todos los tratamientos, salvo en los trozos control y en los recubiertos con carnauba al 2,5 y 5%. Al séptimo día de conservación, el 100% de los catadores detectó un sabor extraño en los trozos recubiertos con carragenano y

quitosano al 0,5% y un 50% en los trozos recubiertos con quitosano al 0,1% y carboximetilcelulosa. Sin embargo, tanto en los trozos del control como en los recubiertos con las distintas concentraciones de cera carnauba no detectaron dichos sabores extraños (Figura 72).

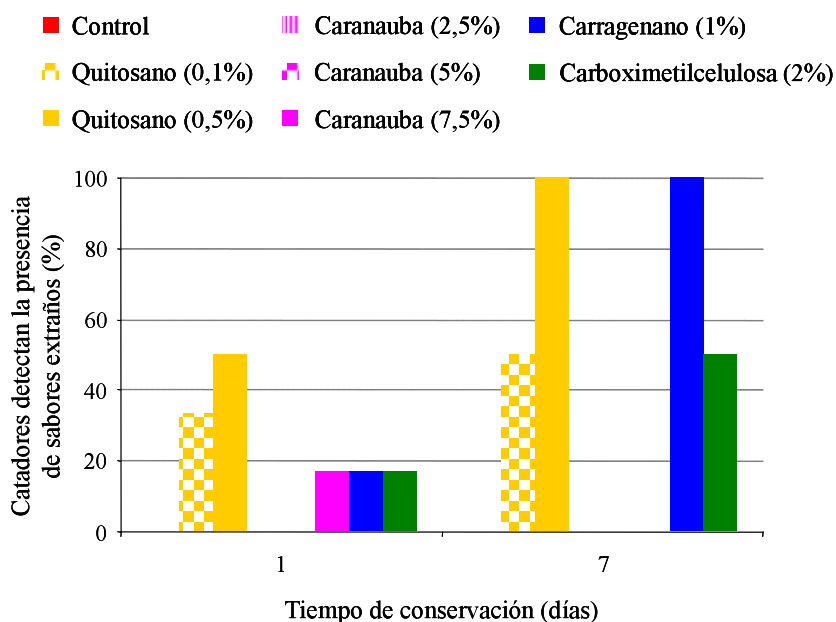


Figura 72. Catadores (%) que detectaron la presencia de sabores extraños en los trozos de yuca cocinada a los que se les aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fueron conservados durante siete días a 5°C.

El primer día de conservación, el 33% de los catadores comprarían la yuca cocinada que había sido recubierta con quitosano al 0,1%, mientras que un porcentaje ligeramente mayor de los mismos, un 50%, comprarían los trozos de yuca cocinados que habían sido recubiertos con quitosano al 0,5% y carragenano. En cuanto al resto de tratamientos evaluados, un 83% de los catadores comprarían dichos productos. Sin embargo, a los siete días de conservación ninguno de los catadores compraría la yuca cocinada que fue recubierta con carragenano; sólo un 50% de los mismos compraría las yucas que fueron recubiertas con quitosano al 0,1 y 0,5% y carboximetilcelulosa; mientras que el 100% de los catadores comprarían la yuca cocinada que había sido recubierta con cualquiera de las

concentraciones de carnauba evaluadas y la yuca a la que no se aplicó ningún recubrimiento (control) (Figura 73).

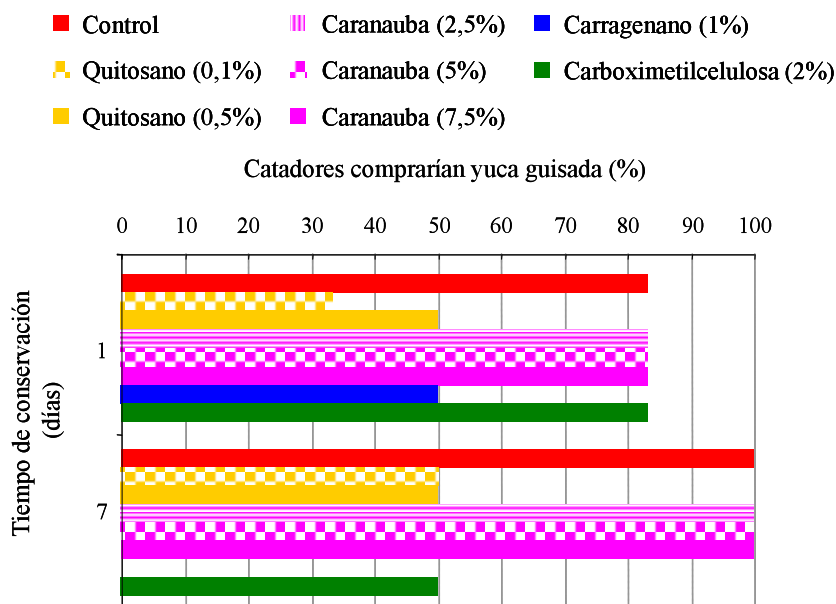


Figura 73. Catadores (%) que comprarían trozos de yuca cocinada a los que se les aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fueron conservados durante siete días a 5°C.

Una vez evaluados los parámetros sensoriales, el catador seleccionó el tratamiento más apto para el consumo teniendo en cuenta las valoraciones que había realizado en la yuca cruda y cocinada (Figura 74). Tanto al inicio como al final de la conservación (siete días) los catadores seleccionaron los trozos a los que no se aplicó el recubrimiento (67 y 100%, respectivamente) como los de mejor calidad sensorial; después de siete días de conservación; el 50% de los catadores seleccionaron el tratamiento con carnauba al 7,5% y ningún catador seleccionó el resto de tratamientos.

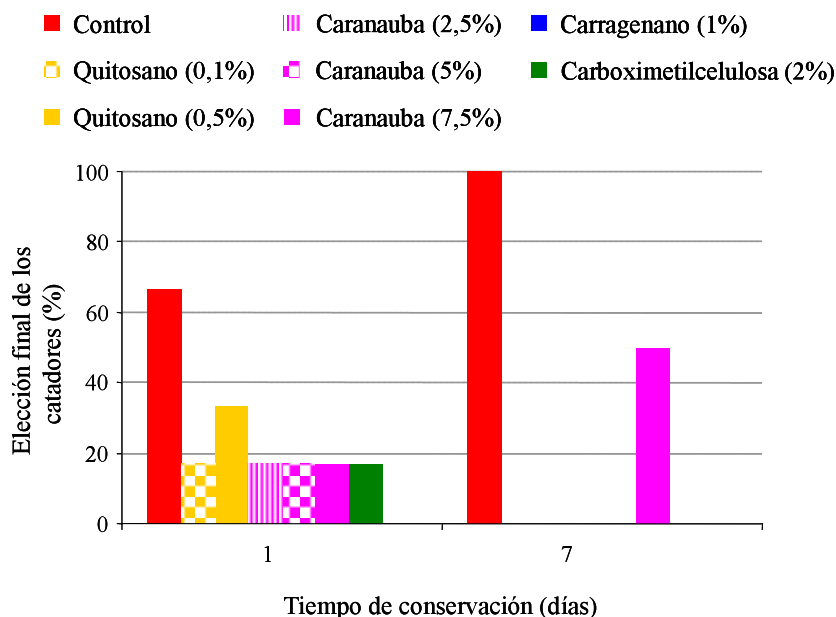


Figura 74. Elección final de los catadores (%) que comprarían yuca mínimamente procesada a la que se le aplicó distintos recubrimientos comestibles y que fue conservada durante siete días a 5°C.

Pereira *et al.* (2008) compararon zanahorias mínimamente procesadas de la variedad “Indiana-F1” sin la aplicación de recubrimiento o con la aplicación de una disolución de polipéptidos al 2%. La aplicación del recubrimiento mantuvo la calidad sensorial (evaluada como impresión global y como color) del producto independientemente de la temperatura de conservación (5 y 10°C). Mei *et al.* (2002) evaluaron la aplicación de goma xantana (0,3%) en combinación con sales de calcio (5%) o α -tocoferol (0,2%) en zanahorias mínimamente procesadas durante tres semanas. Observaron que la aplicación de dicho recubrimiento mantuvo las características organolépticas de los tubérculos (sabor, aroma y textura) durante tres semanas y, en especial, el color naranja característico de estos tubérculos. Por otro lado, Cliffe-Byrnes y O’Beirne (2007) compararon la aplicación de un recubrimiento comestible (Nature Seal®) en discos de zanahoria envasados en un *film* poco permeable. Señalaron que, durante seis días a 4°C, en los tubérculos tratados se ralentizó la aparición de blanqueamiento superficial y se

mantuvo mejor la calidad sensorial del producto que en las zanahorias conservadas a 8°C. Waimaleongora-Ek *et al.* (2008) indicaron que, a los 17 días de conservación, la batata mínimamente procesada que fue recubierta con quitosano al 1% presentaba un aspecto similar al que tenía el producto sin recubrir el mismo día del procesado.

En este estudio se observó que, de forma general, los recubrimientos evaluados no alargaron la vida comercial ni controlaron el estriado vascular de la yuca mínimamente procesada de forma significativa. Además, los trozos de yuca control (sin recubrimiento) fueron los seleccionados por los catadores como el tratamiento más adecuado desde el punto de vista sensorial.

4.7. Evaluación del *film* y la atmósfera en el interior del envase de yuca mínimamente procesada

Existen multitud de materiales poliméricos que pueden utilizarse para el envasado de los productos mínimamente procesados. Es importante la correcta elección de la permeabilidad del *film* utilizado en esta operación, ya que la atmósfera modificada en el interior del envase dependerá de la naturaleza del *film* y de la intensidad respiratoria del producto. En este sentido, en esta Tesis Doctoral, se ensayaron tres tipos de *films* y distintas atmósferas: *film* microperforado más permeable (P-Plus 180, permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono de $19.200 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$) y aire, *film* microperforado menos permeable (P-Plus 90, $5.200 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$) y un 15 ó un 5% de oxígeno y un *film* impermeable y aire, un 15 ó un 5% de oxígeno.

El envasado de la yuca mínimamente procesada en barquetas selladas con distintos *films* afectó de manera importante al desarrollo del estriado vascular en las raíces. La aparición del estriado vascular se manifestó en el control (*film* más permeable) y en los envases sellados con el *film* impermeable dos días después de ser procesada la yuca. En las barquetas que habían sido selladas con el *film* menos permeable el estriado vascular comenzó a manifestarse en algunas barquetas al tercer día. Sin embargo, a los nueve días de conservación el 100 o el 83% de las barquetas selladas con el *film* menos permeable y un 15 ó 5% de oxígeno presentaron trozos con estriado vascular, respectivamente. Estos dos tratamientos fueron los que presentaron mayor porcentaje de barquetas con estriado vascular el último día de conservación. En el control el 63% de las barquetas presentaron este deterioro. Todas las barquetas selladas con *film* impermeable, con aire y un 15 ó 5% de oxígeno, fueron las que menor porcentaje de barquetas con deterioro fisiológico presentaron el último día de conservación, siendo éste de un 46, 36 y 50%, respectivamente (Figura 75).

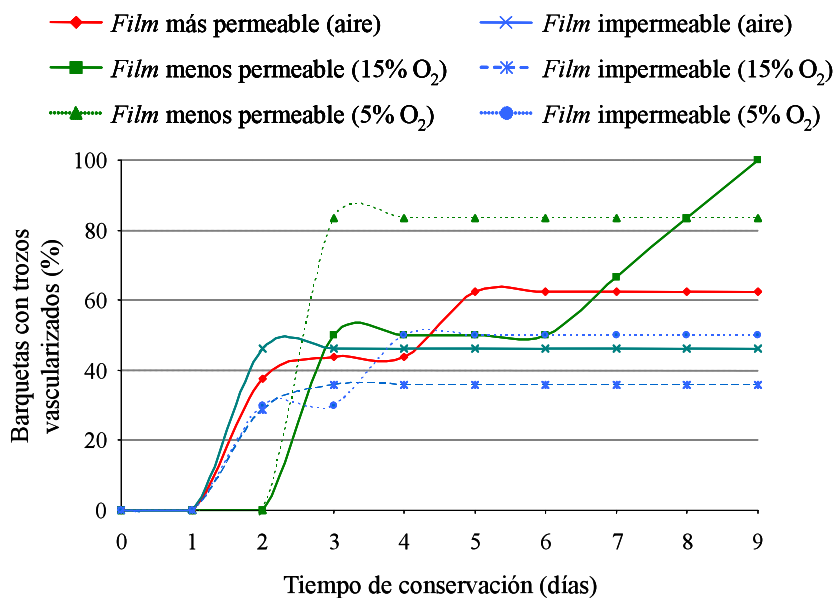


Figura 75. Porcentaje de barquetas con trozos vascularizados de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas, selladas con distintos *films* y conservada durante nueve días a 5°C. Permeabilidad del *film* menos permeable (P-Plus 90) y más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 5.200 y 19.200 ml/m²*día*atm, respectivamente.

En cuanto al porcentaje de trozos vascularizados, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, salvo al segundo día de conservación, en el que los trozos envasados con el *film* menos permeable no presentaron estriado vascular (Figura 76a). La severidad del estriado aumentó en todos los tratamientos evaluados a medida que transcurrió la conservación a 5°C (Figura 76b). A los nueve días de conservación las barquetas que fueron selladas con el *film* más permeable y en aire (control) y las selladas con el *film* menos permeable (con un 15 y 5% de oxígeno) fueron las que mayor severidad del deterioro fisiológico presentaron (91, 64 y 72%, respectivamente). En cambio, las que fueron selladas con el *film* impermeable presentaron una severidad menor: 63% para las envasadas en aire, 66% en las envasadas con un 15% de oxígeno y 48% en las envasadas con un 5% de oxígeno.

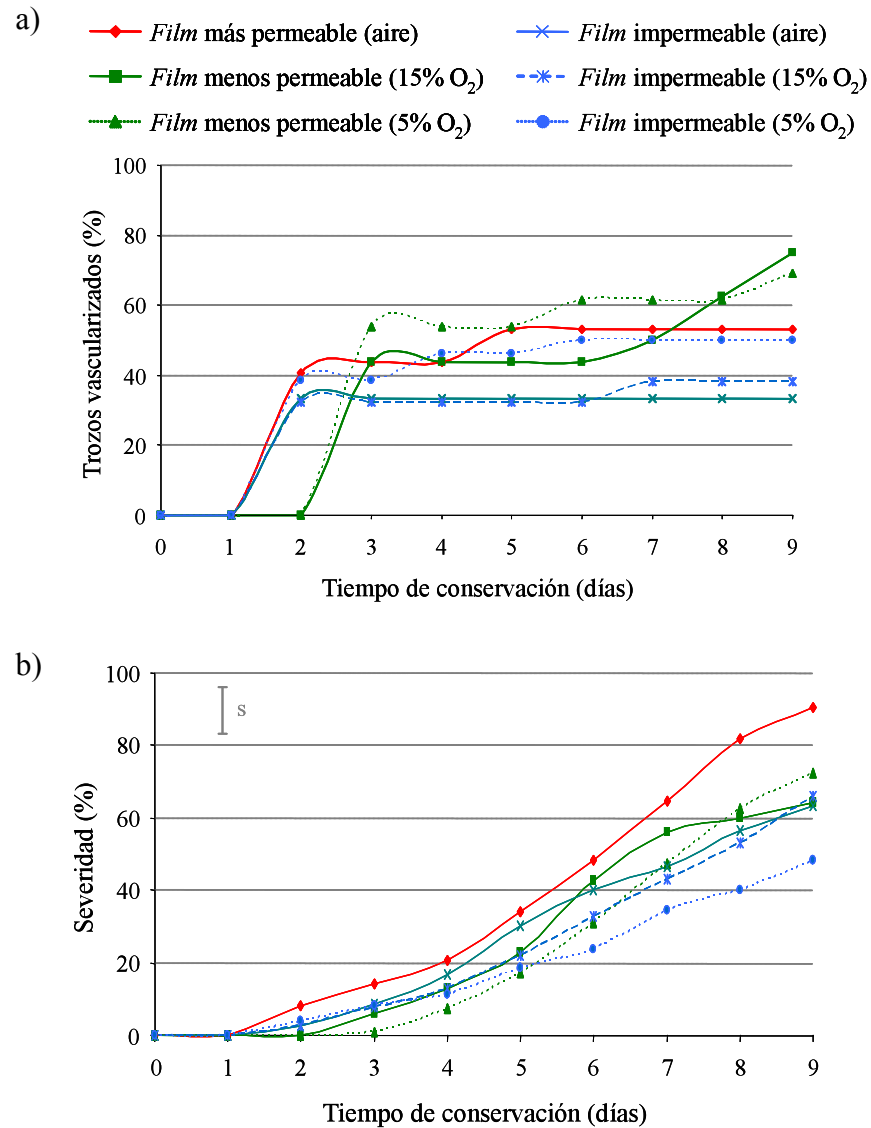


Figura 76. Porcentaje de trozos de yuca vascularizados(a) y severidad del deterioro (%) (b) en los trozos de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas, selladas con distintos *films* y conservada durante nueve días a 5°C. Permeabilidad del *film* menos permeable (P-Plus 90) y más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 5.200 y 19.200 ml/m²*día*atm, respectivamente.

Silva *et al.* (2003) evaluaron el desarrollo del estriado vascular en yuca mínimamente procesada comparando distintos tipos de envases: bolsas de poliolefina y bandejas de polipropileno selladas con un *film* de policloruro de vinilo y conservadas a 10 y 25°C. Independientemente de la temperatura de conservación, las bandejas selladas con el *film* de policloruro de vinilo (con menor

permeabilidad al oxígeno pero mayor al dióxido de carbono y al vapor de agua que el *film* de poliolefina) fueron descartadas a los tres días de conservación, debido a la alta incidencia de este deterioro; sin embargo, la yuca envasada en las bolsas de poliolefina conservadas a 10°C tuvieron una vida comercial más larga, de aproximadamente doce días.

La Figura 77 muestra la evolución de la concentración de oxígeno en el interior de las barquetas cuando la yuca mínimamente procesada se envasó en distintas atmósferas modificadas (aire, 15 y 5% de oxígeno) y selladas con *films* de distinta permeabilidad (impermeable, menos permeable y más permeable) y se conservó durante nueve días a 5°C.

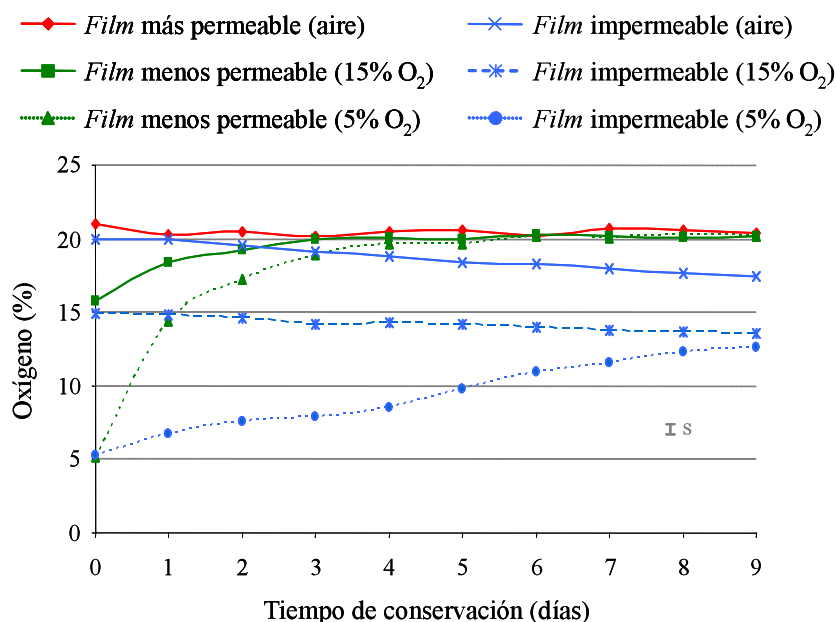


Figura 77. Oxígeno acumulado en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas, selladas con distintos *films* conservada durante nueve días a 5°C. Permeabilidad del *film* menos permeable (P-Plus 90) y más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 5.200 y 19.200 ml/m²*día*atm, respectivamente.

En el interior de las barquetas que contenían aire selladas con el *film* más permeable (control) y en las que contenían aire selladas con el *film* impermeable, se produjo una disminución de la concentración de oxígeno durante la

conservación. Sin embargo, en las barquetas envasadas con un 15 y 5% de oxígeno selladas con el *film* menos permeable y en las selladas con el *film* impermeable con un 5% de oxígeno se produjo un aumento de la concentración de oxígeno durante los nueve días de conservación. Por último, en las envasadas con un 15% de oxígeno y selladas con el *film* impermeable la concentración de oxígeno se mantuvo constante. Hay que resaltar que, desde el segundo día de conservación, las barquetas con un menor contenido en oxígeno fueron las que se sellaron con el *film* impermeable y se envasaron con un 5 y 15% de oxígeno. Barry-Ryan *et al.* (2000) evaluaron diferentes *films* de distinta permeabilidad al oxígeno (entre 1.200 y 200.000 ml/m²*día*atm) y al dióxido de carbono (entre 3.000 y 204.000 ml/m²*día*atm) en el envasado de zanahoria rallada en aire durante diez días a 8 y 3°C. A los diez días de conservación, dichos autores observaron que el *film* más permeable al oxígeno y al dióxido de carbono mantuvo mejor la concentración de oxígeno en el interior de las bolsas (18%), mientras que al envasar las zanahorias con el *film* menos permeable la concentración de oxígeno disminuyó, siendo el último día de conservación del 5%. Por otro lado, observaron que el uso de otros *films* [*film* de polieter (DP) de 35 µm con un recubrimiento hidrofílico, *film* pebax (OSM) y *film* de polipropileno (OPP) de 35 µm)] produjo una disminución de la concentración de oxígeno en el interior de las bolsas, no superando el 1% a los diez días de conservación a 3 y 8°C.

La **Figura 78** muestra la evolución de la concentración de dióxido de carbono en el interior de las barquetas de la yuca mínimamente procesada durante nueve días de conservación a 5°C. En las barquetas que fueron selladas con los *films* permeables, tanto el de menor como el de mayor permeabilidad, se acumuló menos del 0,5% de dióxido de carbono. Sin embargo, en las selladas con el *film* impermeable la acumulación fue mayor (entre $1,5 \pm 0,5\%$ y $2,0 \pm 0,7\%$). En todas la barquetas se produjo un incremento significativo de la concentración de dióxido

de carbono, excepto en las selladas con el *film* más permeable y aire, en las que la concentración se mantuvo constante durante el periodo de conservación ($0,036 \pm 0,072\%$).

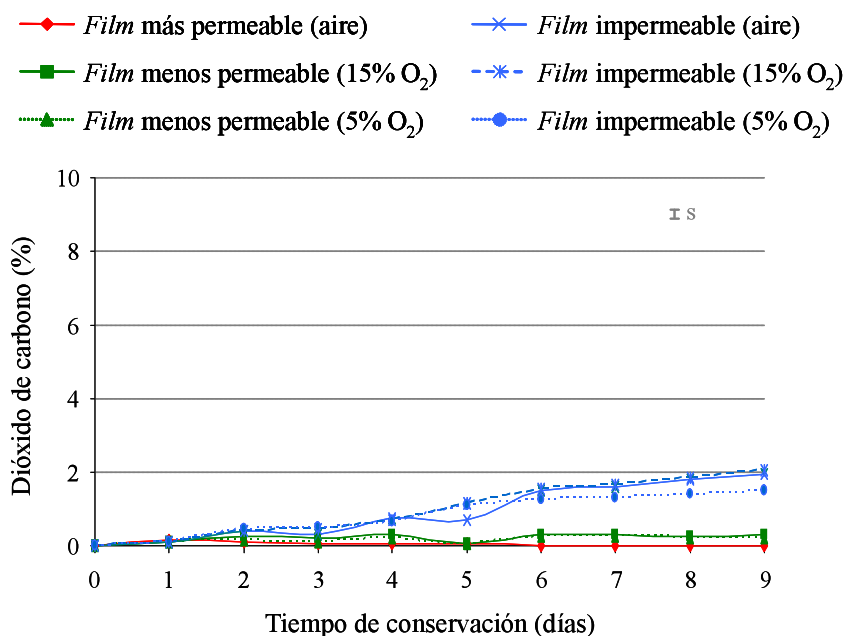


Figura 78. Dióxido de carbono acumulado en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas, selladas con distintos *films* conservada durante nueve días a 5°C. Permeabilidad del *film* menos permeable (P-Plus 90) y más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 5.200 y 19.200 ml/m²*día*atm, respectivamente.

Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007) compararon dos tipos de *films* para el envasado de discos de zanahorias, uno microperforado y otro sin perforar. Durante la conservación a 4 y 8°C se produjo una disminución de la concentración de oxígeno y un incremento de la de dióxido de carbono en todos los envases, siendo mayor el efecto en el caso del *film* sin perforar (llegando incluso a formarse una atmósfera anaeróbica). McConnell *et al.* (2005) envasaron tiras de batata en aire y bajo una atmósfera modificada (5% de oxígeno y 4% de dióxido de carbono) y compararon *films* con distintas permeabilidades al oxígeno: alta (con una permeabilidad de 16.500 ml/m²*día*atm), media (con una permeabilidad de 7.000 ml/m²*día*atm) y baja (con una permeabilidad de 3.000 ml/m²*día*atm)

durante catorce días a 4°C. Al utilizar el *film* de baja permeabilidad la composición gaseosa inicial en el interior del envase se mantuvo constante durante los catorce días de conservación. Sin embargo, cuando envasaron las tiras de batata con el *film* de permeabilidad media la atmósfera inicial se modificó a partir del tercer día hasta alcanzar un 8% de oxígeno y un 3% de dióxido de carbono. Cuando se utilizó el *film* de alta permeabilidad la composición de oxígeno estuvo en torno al 21% mientras que la de dióxido de carbono no superó el 0,7%. Además, Erturk y Picha (2007) y Erturk y Picha (2008) evaluaron, en el envasado de rodajas de batata, *films* de distintas permeabilidades (alta, media y baja) a dos temperaturas de conservación, 2 y 8°C y observaron que, independientemente de la permeabilidad del *film* empleado, se produjo una disminución de la concentración de oxígeno en el interior de las bolsas y un incremento de dióxido durante los catorce días de conservación. Sin embargo, la disminución de la concentración de oxígeno y el incremento de dióxido de carbono fue más severo cuando se empleó el *film* de baja permeabilidad.

En la **Figura 79** se observa que en todos los tratamientos evaluados se produjo acumulación de etileno en el interior de las barquetas, excepto en las barquetas del control (*film* impermeable y aire) en las que el volumen de etileno se mantuvo constante durante los nueve días de conservación, siendo a los nueve días semejante al que se acumuló en las barquetas selladas con el *film* menos permeable. En las barquetas selladas con el *film* impermeable se produjo una acumulación de etileno ($0,16 \pm 0,06$ μl etileno), al quinto día de conservación, aproximadamente tres veces mayor, que la producida en las barquetas selladas con el *film* menos permeable ($0,05 \pm 0,02$ μl etileno). Sin embargo, a los nueve días de conservación, el volumen de etileno en el interior de las barquetas selladas con el *film* impermeable fue casi cuatro veces superior ($0,23 \pm 0,08$ μl etileno) al que presentaron las barquetas que habían sido selladas con el *film* menos permeable ($0,06 \pm 0,02$ μl etileno). Es decir, en las barquetas selladas con el *film*

impermeable fue donde se produjo una mayor acumulación de etileno. Por otra parte, el número de envases con este *film* que presentaron estriado vascular fue menor que para otros tipos de *films* y además la yuca contenida en ellos fue la que presentó menor severidad de este deterioro fisiológico. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Hirose *et al.* (1984a) cuando estudiaron la relación entre la producción de etileno de la yuca y el desarrollo del deterioro fisiológico postcosecha en dicho tubérculo. Así, estos autores señalaron que los trozos de yuca de la variedad “Golden Yellow” que sufrieron mayor deterioro fisiológico produjeron hasta cuatro veces más etileno que aquellos en los que este deterioro fue menor.

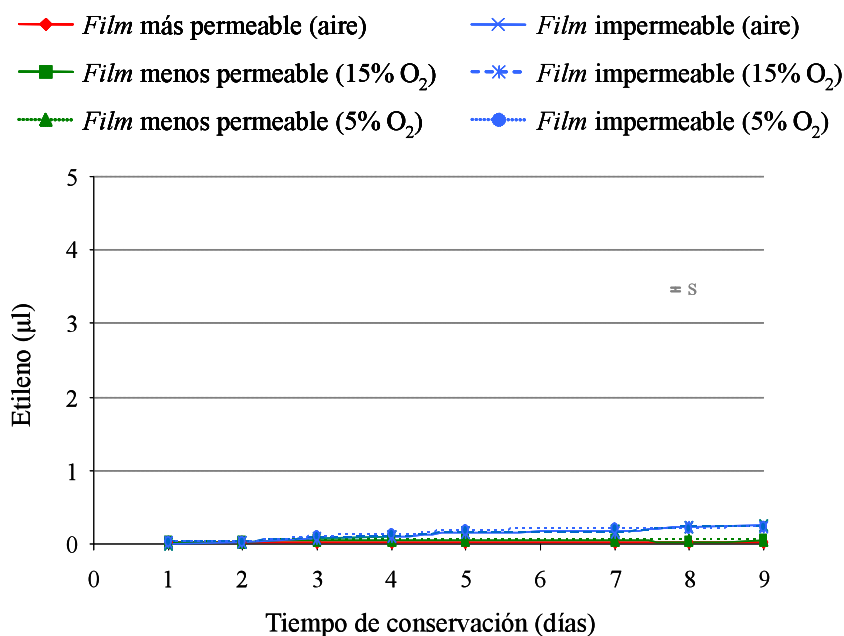


Figura 79. Acumulación de etileno (µl) en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas, selladas con distintos *films* conservada durante nueve días a 5°C. Permeabilidad del *film* menos permeable (P-Plus 90) y más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 5.200 y 19.200 ml/m²*día*atm, respectivamente.

Por tanto, en las barquetas selladas con el *film* impermeable se observó menor porcentaje de barquetas con vascularización y menor severidad del deterioro, menor acumulación de oxígeno en la atmósfera que rodea al tubérculo

y, por el contrario, mayor acumulación de etileno y ligeramente más dióxido de carbono. Se seleccionó el *film* impermeable como el más apropiado para el envasado de la yuca mínimamente procesada.

En el envasado en atmósferas modificadas la composición de la atmósfera que se crea alrededor del producto en el interior del envase es distinta a la del aire. Se considera que el uso de atmósferas modificadas es, después de la disminución de la temperatura del producto, el método más efectivo para alargar la vida comercial de los productos mínimamente procesados (Schlimme y Rooney, 1994). Para evaluar el efecto de la aplicación de atmósferas modificadas en la calidad de la yuca mínimamente procesada se utilizaron distintas concentraciones de oxígeno en el interior de las barquetas (20, 15, 10 y 5%) en ausencia de dióxido de carbono. Las barquetas fueron selladas con el *film* impermeable. Como control se utilizaron barquetas en las que los trozos de yuca se envasaron en aire y se sellaron con un *film* de permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono $19.200 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$ (P-Plus 180).

El número de barquetas con trozos vascularizados aumentó durante la conservación, independientemente de la atmósfera inicial en la que fueron envasados. El 65% de las barquetas envasadas en aire con el *film* más permeable (control) y en las que se había incluido una atmósfera del 20% de oxígeno con el *film* impermeable presentaron vascularización a las 24 horas de procesar la yuca, mientras que entre el 25 y 35% de las barquetas envasadas con un 15, 10 y 5% de oxígeno presentaron dicho desorden. Esta tendencia se mantuvo durante los dos primeros días de conservación. Sin embargo, a partir del tercer día de conservación, en todos los tratamientos, el número de las barquetas vascularizadas fue superior al 85%. A partir del sexto día hasta el último día de conservación todos los tratamientos presentaron el 100% de las barquetas vascularizadas. El número de trozos de yuca vascularizados también aumentó durante el periodo de conservación en todas las atmósferas evaluadas. Durante los tres primeros días el

número de trozos de yuca vascularizados fue similar en todos los tratamientos (32% de trozos vascularizados el primer día de conservación). A partir del tercer día hasta el quinto día, los trozos envasados en un 15% de oxígeno presentaron el menor porcentaje de vascularización (58-63%) mientras que el resto de tratamientos presentaron entre un 81 y un 94% de los trozos vascularizados. Sin embargo, desde el sexto día hasta el último día de conservación el porcentaje de trozos vascularizados fue similar en todos los tratamientos evaluados. En la **Figura 80** se representa la severidad del deterioro en los trozos de yuca envasados en distintas atmósferas durante la conservación.

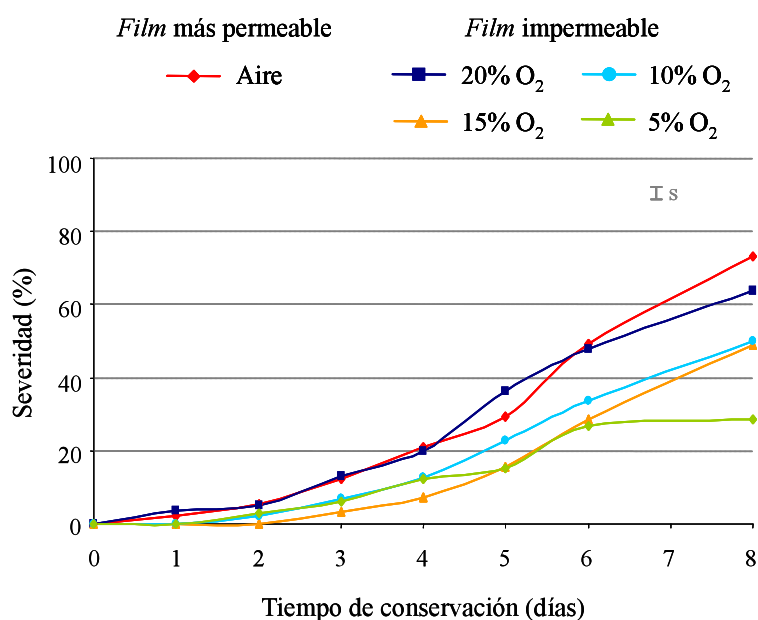


Figura 80. Severidad del deterioro (%) en los trozos de yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

La severidad aumentó durante los ocho días de conservación de forma continua en todos los tratamientos evaluados. Los trozos de yuca envasados en aire (control) y en un 20% de oxígeno con el *film* impermeable fueron los que mayor severidad presentaron el último día de conservación ($71 \pm 26\%$). Sin

embargo, los trozos de yuca que menor severidad de estriado vascular presentaron fueron los envasados en un 5% de oxígeno ($32 \pm 13\%$) seguidos de los envasados en un 15 y 10% de oxígeno ($51 \pm 24\%$). Sin embargo, aunque los trozos envasados en un 5% de oxígeno fueron los que presentaron menor severidad de vascularización, se produjo una condensación de agua muy importante en la superficie del *film* (Foto 24). Este hecho fue uno de los inconvenientes encontrados al envasar en el *film* impermeable, siendo la condensación de agua mayor en las barquetas con una atmósfera inicial del 5% de oxígeno.

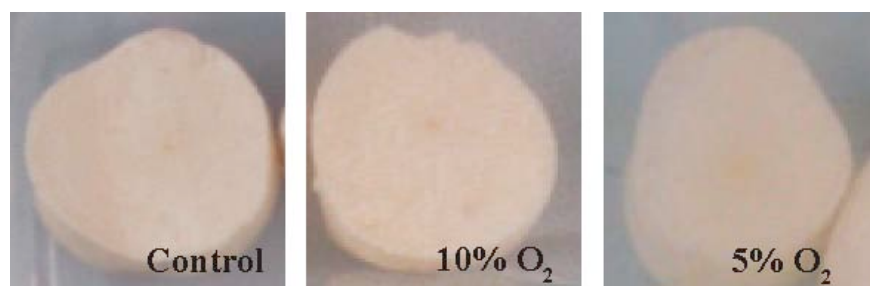


Foto 24. Condensación de agua en la superficie del *film* de las barquetas con yuca envasada: en aire con un *film* permeable (izquierda) y con un *film* impermeable con un 10% de oxígeno (centro) y un 5% de oxígeno (derecha) conservadas durante ocho días a 5°C.

Alves *et al.* (2005) emplearon distintos materiales para el envasado de yuca procesada (bandejas envueltas con un *film* de cloruro de polivinilo y bolsas de polietileno con una atmósfera sin modificar o al vacío). La yuca envasada en las bandejas presentó estriado vascular entre el sexto y octavo día de conservación, mientras que en la yuca envasada en bolsas al vacío se manifestó a los 24 días de conservación a 5°C. Silva *et al.* (2003) también evaluaron el efecto del envasado (en bolsas al vacío o sin vacío y en bandejas) sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada conservada a 10 y 25°C y observaron que, debido a la incidencia del estriado vascular, las bandejas tuvieron una vida comercial mucho menor (tres y seis días en las conservadas a 25 y 10°C, respectivamente) que las

envasadas en bolsas con o sin vacío (seis y doce días en las conservadas a 25 y 10°C, respectivamente). En cambio, en el presente estudio el estriado vascular se presentó a partir del primer día de conservación; esto puede deberse a muchos factores, entre los que se encuentran la variedad, la zona de cultivo y otros factores medioambientales que determinan que unas variedades sean más susceptibles que otras al estriado vascular.

En la **Figura 81** se muestra la evolución de la concentración de oxígeno en el interior de las barquetas durante ocho días de conservación a 5°C.

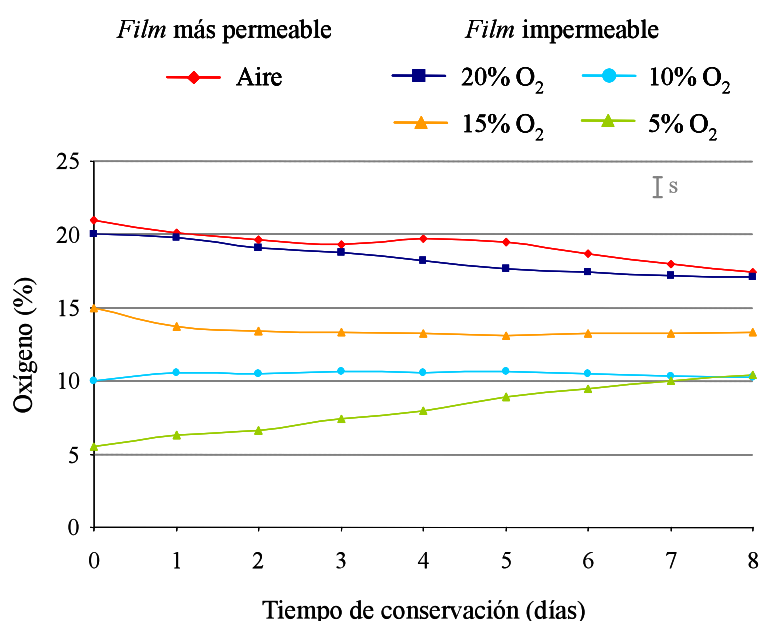


Figura 81. Oxígeno acumulado en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

En las barquetas con trozos de yuca envasados con un 15 y 10% de oxígeno la composición se mantuvo constante desde el momento del procesado hasta el último día de conservación (14 ± 2% y 11 ± 2%, respectivamente). En cambio, en las barquetas con un 20% de oxígeno y en las control (envasado en aire con el *film* más permeable) se produjo una disminución significativa del porcentaje de

oxígeno durante la conservación. Así, el último día de conservación no había diferencia en la concentración de oxígeno que presentaban las barquetas control y en las que se había inyectado un 20% de oxígeno ($17 \pm 2\%$). En las barquetas con un 5% de oxígeno se produjo un incremento desde el momento del procesado ($5,5 \pm 0,2\%$) hasta el octavo día de conservación ($10 \pm 3\%$). Debido a este aumento, tampoco se observó diferencia alguna entre las barquetas selladas con el *film* más permeable y a las que se inyectó 15, 10 y 5% de oxígeno ($11 \pm 3\%$).

En la **Figura 82** se muestra que la concentración de dióxido de carbono aumentó durante la conservación en todos los tratamientos evaluados. Así, aunque no se detectó dióxido de carbono en ninguno de los tratamientos evaluados en el momento del procesado a partir del primer día ya se detectó acumulación. Desde el cuarto día hasta el final de la conservación, en las barquetas con trozos que fueron envasados en el *film* impermeable y un 20, 15, 10 y 5% de oxígeno se acumuló mayor cantidad de dióxido de carbono que en las control. Al octavo día la composición en las barquetas control fue de $2,0 \pm 1,7\%$ y en el resto de tratamientos fue de $2,8 \pm 0,7\%$. Beltrán *et al.* (2005) evaluaron el envasado (al vacío o en atmósferas modificadas) en bolsas de polietileno de tiras de papa de la variedad “Monalisa” durante 14 días a 4°C y concluyeron que, en las papas envasadas en atmósfera modificada (aire) la concentración de dióxido de carbono aumentó durante los cinco primeros días de conservación hasta 1,4%, manteniéndose dicha concentración constante hasta el último día. Además, señalaron que, el envasado al vacío inhibió mejor el pardeamiento de las papas que el envasado bajo atmósfera modificada.

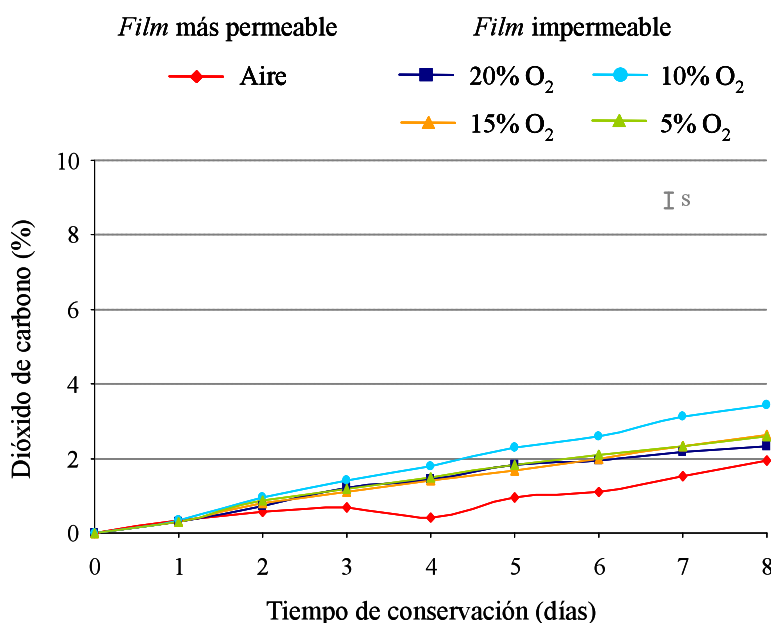


Figura 82. Dióxido de carbono acumulado en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

Independientemente del tratamiento evaluado, se produjo una acumulación de etileno en el interior de las barquetas durante los ocho días de conservación (Figura 83). Sin embargo, de forma general, el volumen de etileno en el interior de las barquetas fue similar en todos los tratamientos evaluados.

Durante el almacenamiento se produjo una ligera pérdida de peso en las barquetas que no superó en ninguno de los tratamientos evaluados, el 0,025%. Esta pérdida de peso fue muy inferior a la obtenida por Rocha *et al.* (2007) en zanahoria de la variedad “Nantes”, ya que a los diez días de conservación a 2°C la pérdida de peso fue mucho menor en las zanahorias envasadas al vacío (2%) que en las envasadas en aire (10%).

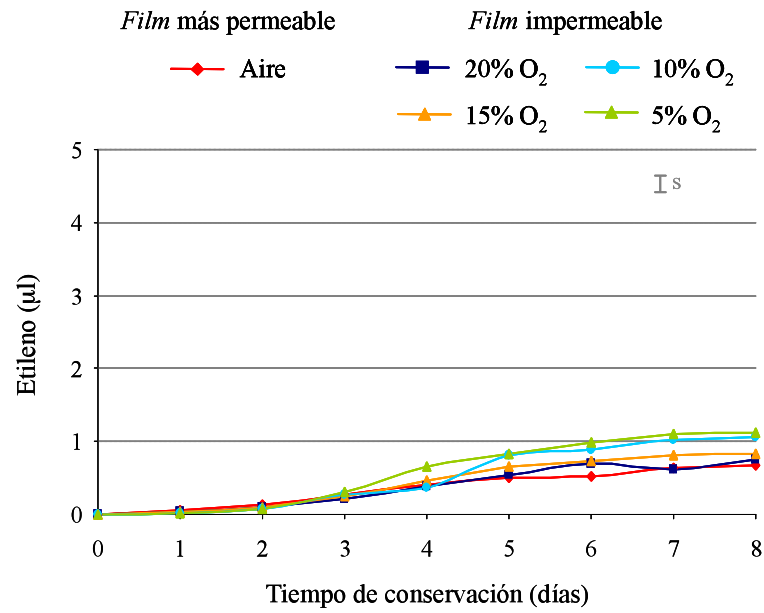


Figura 83. Acumulación de etileno (μl) en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C . Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: $19.200 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$.

Durante los ocho días de conservación no se observó deshidratación en los trozos de yuca envasados en las distintas atmósferas evaluadas. Sin embargo, en los trozos control se apreció una ligera deshidratación a partir del sexto día (Foto 25).

Film más permeable



Film impermeable

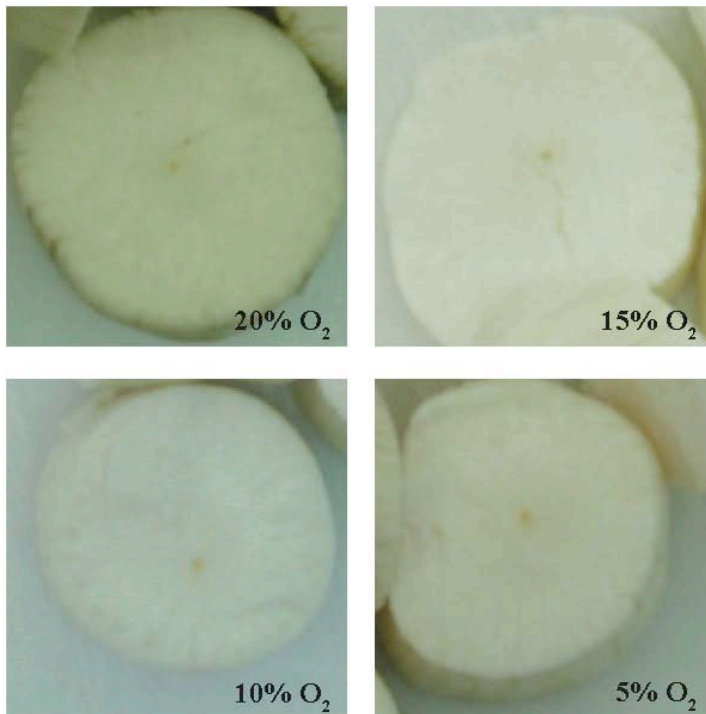


Foto 25. Deshidratación superficial de los trozos de yuca mínimamente procesados envasados en distintas atmósferas modificadas al sexto día de conservación a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

En general, la luminosidad de los trozos de yuca (87 ± 1) se mantuvo hasta el sexto día de conservación. Entre el sexto y el octavo día se produjo una clara

disminución de la luminosidad que resultó más patente en los trozos envasados en aire, tanto con el *film* más permeable como con el impermeable (76 ± 6) que en el resto de tratamientos evaluados (84 ± 1) (Figura 84a).

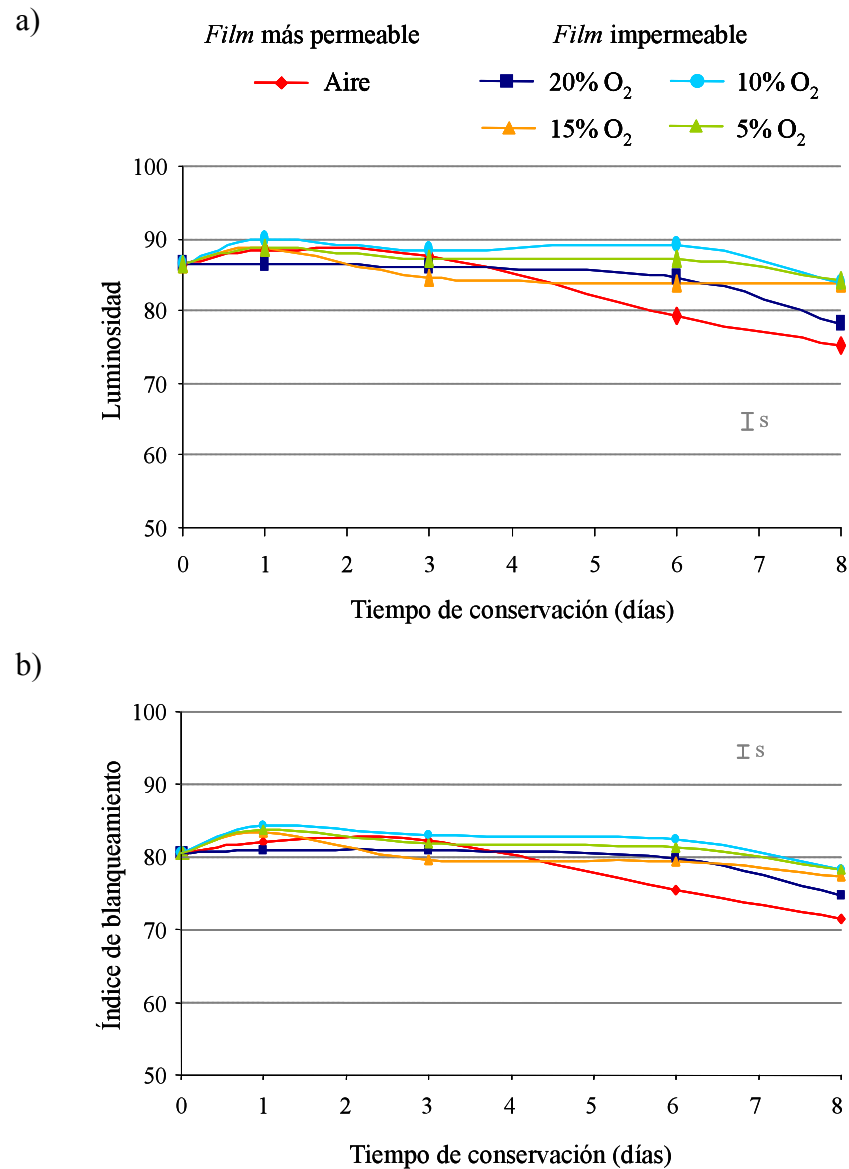


Figura 84. Luminosidad (a) e índice de blanqueamiento (b) de la yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: $19.200 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$.

En la [Figura 84b](#) se muestra la evolución del índice de blanqueamiento de los trozos de yuca envasados en las distintas atmósferas evaluadas durante ocho días de conservación a 5°C. Se observó que, independientemente del tratamiento evaluado, se produjo una disminución de dicho parámetro, siendo ésta más resaltable desde el sexto hasta el último día de conservación. El índice de blanqueamiento de la yuca recién procesada fue similar en todos los tratamientos evaluados (81 ± 1) tal y como ocurrió con la luminosidad. Al octavo día de conservación, los trozos envasados en aire con el *film* más permeable presentaron un índice de blanqueamiento significativamente menor (72 ± 7) que los envasados con un 15, 10 y 5% de oxígeno, con el *film* impermeable (78 ± 1).

Como refleja el parámetro ΔE , el color de la yuca se modificó durante el periodo de conservación en todas las atmósferas evaluadas ([Figura 85](#)). La mayor modificación del color se presentó en los trozos que fueron envasados en aire, tanto con el *film* más permeable como con el impermeable, siendo al final de la conservación de un 10 ± 6 . En cambio, en el resto de tratamientos el color se modificó en un 3 ± 2 . En el presente estudio se observó, durante la conservación a 5°C, una correlación entre los parámetros relacionados con el color (luminosidad, índice de blanqueamiento y ΔE) y la concentración de oxígeno en el interior de las barquetas con trozos de yuca. Se detectó que, cuando los trozos de yuca fueron envasados en altas concentraciones de oxígeno (20%), el porcentaje de estriado vascular en dichos trozos fue superior que en los conservados en bajas concentraciones y por tanto, la luminosidad, el índice de blanqueamiento y el ΔE , se vieron claramente modificados.

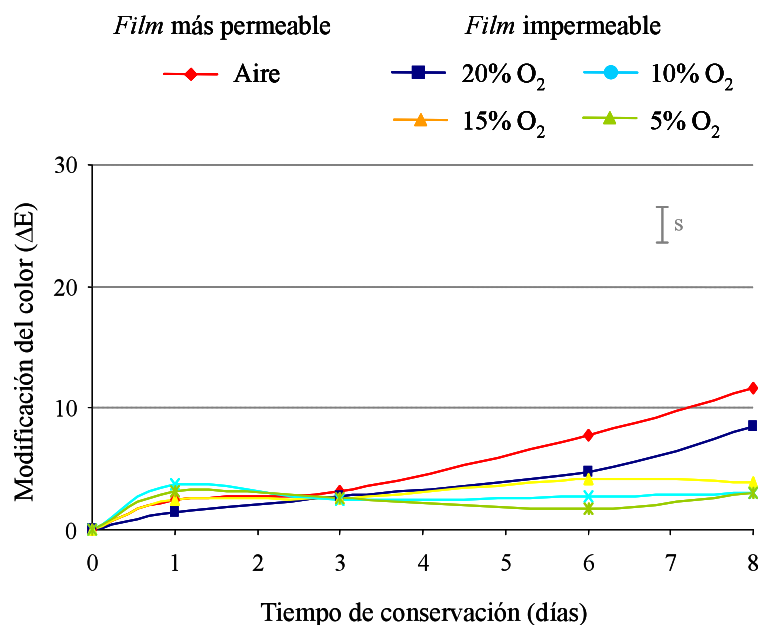


Figura 85. Modificación del color (ΔE) de la yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

Silva *et al.* (2003) evaluaron, en yuca procesada mínimamente, el efecto del envasado en bandejas de polipropileno envueltas con un *film* de policloruro de vinilo y en bolsas de poliolefina al vacío y en aire. Los troncos de yuca, de aproximadamente 8 cm de grosor, envasados en bandejas sufrieron una drástica modificación del color (por encima de 10) al tercer día de conservación. Sin embargo, en la yuca envasada en bolsas al vacío y en aire y conservadas a 10°C la modificación del color fue mucho menor (3,5 durante doce días de conservación). Rocha *et al.* (2007) describieron como, durante la conservación de la zanahoria rallada durante diez días a 2°C, se produjo un incremento de la luminosidad y del índice de blanqueamiento más severo en las zanahorias envasadas en una atmósfera de aire que en las envasadas al vacío, acompañado de una mayor severidad del blanqueamiento. Amanatidou *et al.* (2000) también evaluaron distintas atmósferas en zanahorias mínimamente procesadas y conservadas

durante doce días a 8°C, aunque en este caso compararon altas concentraciones de oxígeno (90, 80, 70 y 50%) y de dióxido de carbono (30, 20 y 10%) frente a bajas concentraciones (1%) en combinación con ácido cítrico, cloruro cálcico y un recubrimiento comestible a base de alginatos. El índice de blanqueamiento aumentó a partir del octavo día en las zanahorias que no fueron tratadas con agente antioxidante y sin la aplicación de recubrimiento comestible. En cambio, el color no se modificó hasta los doce días de conservación en las tratadas con recubrimiento comestible y con el agente antioxidante y envasadas bajo una atmósfera del 50% de oxígeno y 30% de dióxido de carbono o del 1% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono. Estos autores concluyeron que no existió una correlación directa entre la concentración de la atmósfera y el índice de blanqueamiento en zanahorias. Angós *et al.* (2008) observaron que el color de las rodajas de papa, de la variedad “Monalisa”, se modificó menos en las envasadas en atmósferas con altas concentraciones de oxígeno (90 y 80%), durante la conservación. Pineli *et al.* (2005b) evaluaron distintas atmósferas controladas (vacío parcial, 2% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono o 5% de oxígeno y 5% de dióxido de carbono) en papas mínimamente procesadas y observaron que el índice de oscurecimiento se incrementó durante los nueve días de conservación a 5°C, independientemente de la atmósfera en la que fue envasado el tubérculo. Sin embargo, dicho incremento fue mayor en la atmósfera de 5% de oxígeno y 5% de dióxido de carbono, seguido del envasado en 2% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono y el vacío parcial. Además, Pineli *et al.* (2005a) evaluaron dos atmósferas, pasiva (aire) y activa [2% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono en combinación con agentes antioxidantes (ácido cítrico y ácido eritórbico)], en papa mínimamente procesada y conservada a 5°C. Al noveno día el índice de oscurecimiento aumentó en las papas envasadas en atmósfera pasiva un 11%; en cambio en el tratamiento con atmósfera activa, en combinación con agentes antioxidantes, sólo aumentó un 6,2%.

La evolución en los distintos tratamientos de la actividad de la enzima peroxidasa durante la conservación queda reflejada en la **Figura 86**. Durante el periodo de conservación se produjo un incremento significativo de la actividad peroxidasa en todos los tubérculos envasados con el *film* impermeable (y distintas concentraciones de oxígeno). Sin embargo, en la yuca envasada en aire con el *film* más permeable, la actividad sufrió un descenso de aproximadamente el 25%. El último día de conservación la yuca con mayor actividad de la enzima fue la que se envasó con el *film* impermeable y un 20% de oxígeno, si bien, a los seis días de conservación, la actividad peroxidasa fue mayor en la yuca envasada en un 15% de oxígeno.

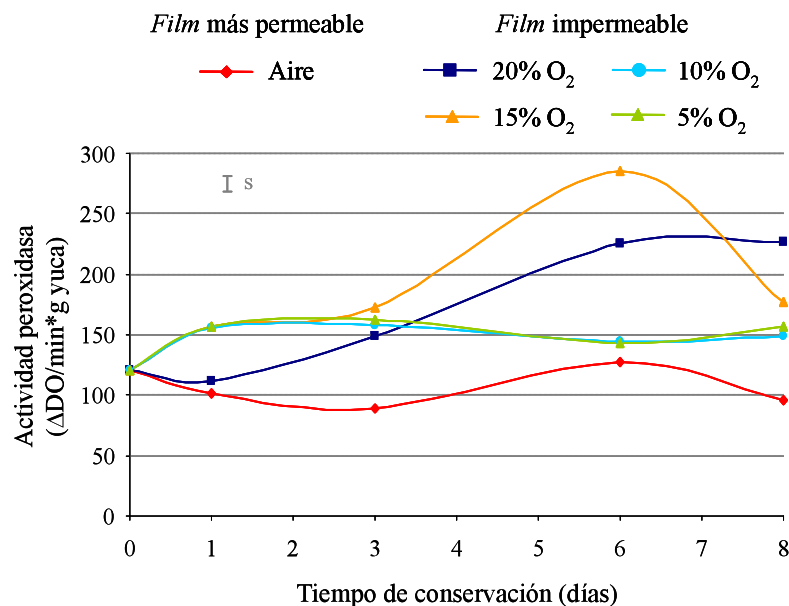


Figura 86. Actividad de la enzima peroxidasa de la yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

Por el contrario, la actividad de la enzima polifenoloxidasas descendió desde el momento del procesado hasta el final de la conservación tanto en el control como en las raíces envasadas con el *film* impermeable y un 5 o un 10% de oxígeno entre un 32 y 46%. Sin embargo, cuando la yuca fue envasada en un 15 o

un 20% de oxígeno, la actividad fue igual el primer y último día de conservación. El último día de conservación, la actividad de la enzima polifenoloxidasas fue menor (alrededor de un 20%) en la yuca envasada con un 10% de oxígeno con el *film* impermeable y el control que en la envasada con el *film* impermeable y un 15 o un 20% de oxígeno (Figura 87).

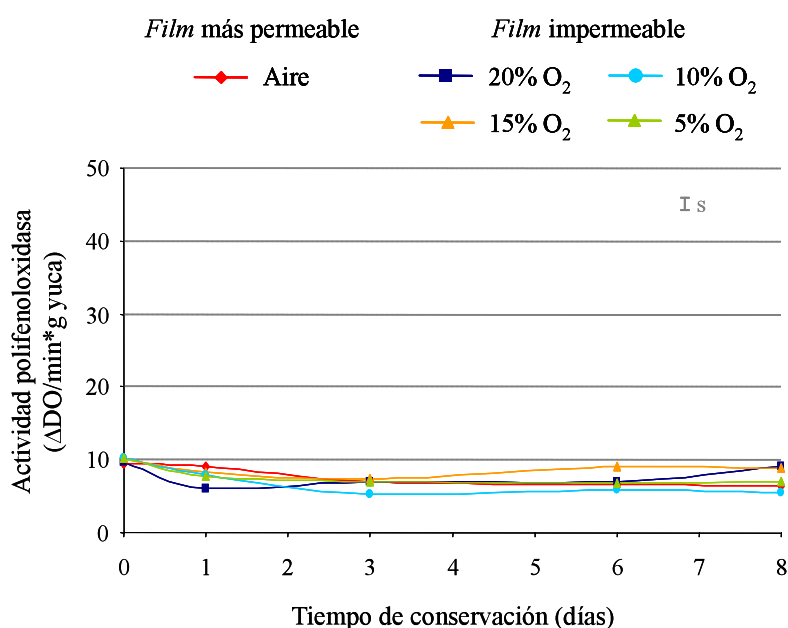


Figura 87. Actividad de la enzima polifenoloxidasas de la yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

Pineli *et al.* (2005a) evaluaron la actividad peroxidasa y polifenoloxidasas en papa mínimamente procesada, tratada con agentes antioxidantes y envasada en atmósfera modificada pasiva (aire) y activa (2% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono). En todos los tratamientos la actividad de la enzima polifenoloxidasas se mantuvo constante durante los nueve días de conservación, aunque fue significativamente menor en los tubérculos envasados en una atmósfera modificada activa. Además, de manera similar a lo que ocurrió con la enzima polifenoloxidasas, el incremento de la actividad de la enzima peroxidasa fue menor en los tubérculos envasados en una atmósfera modificada activa. Por otro lado,

Pineli *et al.* (2005b) observaron que cuando envasaron las papas mínimamente procesadas con vacío parcial las actividades de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasas fueron significativamente menores a las obtenidas cuando el tubérculo fue envasado en una atmósfera modificada activa.

Durante el periodo de conservación no se detectó la presencia de manchas amarillas en ninguno de los tubérculos envasados con las distintas atmósferas evaluadas.

La firmeza de los trozos de yuca se mantuvo constante hasta el final de la conservación cuando se envasaron en un 20, 15 ó 10% de oxígeno ($3,2 \pm 1,4$ N/g). Sin embargo, en los envasados con un 5% de oxígeno la firmeza se mantuvo constante hasta el sexto día de conservación, aumentando prácticamente al doble al final de ésta (Figura 88).

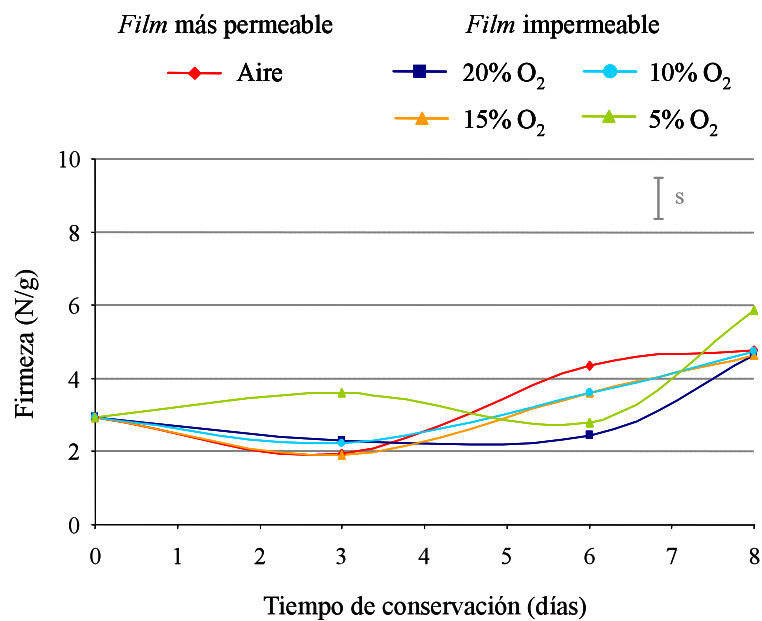


Figura 88. Evolución de la firmeza (N/g) de yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante ocho días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: $19.200 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$.

En los trozos envasados en aire con el *film* más permeable (control) la firmeza no se modificó hasta el tercer día, apreciándose al sexto día de

conservación un aumento que se mantuvo hasta el octavo día de conservación. A pesar de estos cambios, no se observaron diferencias en la firmeza de los trozos de yuca envasados con las distintas atmósferas evaluadas durante la conservación, excepto al tercer día, en el que los trozos envasados inicialmente en un 5% de oxígeno presentaron una firmeza ligeramente mayor. Amanatidou *et al.* (2000) evaluaron el efecto de la atmósfera en el envasado sobre la firmeza de rodajas de zanahorias conservadas doce días a 8°C. Durante la conservación, los tubérculos envasados en aire, sufrieron una disminución de la firmeza; sin embargo, en las rodajas que fueron envasadas en un 1% de oxígeno y un 10% de dióxido de carbono se mantuvo constante. En el resto de atmósferas evaluadas, en las que se emplearon altas concentraciones de oxígeno (50, 70, 80 y 90%) la firmeza de los tubérculos aumentó. Angós *et al.* (2008) describieron que, en comparación con el envasado con aire (control), de las atmósferas evaluadas (con un porcentaje de oxígeno/dióxido de carbono del 2,5/0, 2,5/5, 5/0, 5/10, 80/0, 90/0 ó 90/10) en el envasado de rodajas de papas de la variedad “Monalisa”, durante catorce días de conservación a 4°C, la compuesta por un 80% de oxígeno y entre un 10-20% de dióxido de carbono fue la que redujo el endurecimiento de la papa en un 37%. Además, Pineli *et al.* (2005b) observaron que en las rodajas de papas envasadas con un 2% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono o con un 5% de oxígeno y 5% de dióxido de carbono la firmeza sufrió un incremento significativo durante los nueve días de conservación a 5°C; sin embargo, cuando fueron envasadas en vacío parcial este parámetro se mantuvo constante durante el periodo de conservación.

La firmeza de la yuca cocinada se evaluó en el momento del procesado y después de seis días de conservación a 5°C. No hubo diferencias estadísticamente significativas en la firmeza de la yuca cocinada ($0,97 \pm 0,20$ N/g), ni entre las atmósferas evaluadas, ni en el tiempo de conservación.

El análisis microbiológico es un parámetro muy importante desde el punto de vista de la calidad higiénico-sanitaria de los productos mínimamente procesados. En la **Tabla 8** se muestran los resultados obtenidos en el recuento de microorganismos aerobios mesófilos en yuca mínimamente procesada y posteriormente envasada en distintas atmósferas.

Tabla 8. Recuento de microorganismos mesófilos aerobios [Log (ufc/g)] de yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas conservada durante ocho días a 5°C.

Atmósferas modificadas	Tiempo de conservación (días)			
	0	3	6	8
<i>Film más permeable (19.200 ml/m²*día*atm)</i>				
Control	0,30 ± 0,30 ^{d/A}	1,8 ± 0,2 ^{c/A}	3,8 ± 0,2 ^{b/A}	4,6 ± 0,2 ^{a/A}
<i>Film impermeable</i>				
20% O ₂	0,30 ± 0,30 ^{c/A}	1,9 ± 0,1 ^{b/A}	3,9 ± 0,2 ^{a/A}	3,6 ± 0,2 ^{a/D}
15% O ₂	0,30 ± 0,30 ^{d/A}	1,8 ± 0,1 ^{c/A}	3,5 ± 0,0 ^{b/B}	4,0 ± 0,0 ^{a/C}
10% O ₂	0,30 ± 0,30 ^{d/A}	1,4 ± 0,2 ^{c/B}	3,4 ± 0,2 ^{b/B}	4,3 ± 0,2 ^{a/B}
5% O ₂	0,26 ± 0,30 ^{d/A}	1,7 ± 0,1 ^{c/AB}	3,0 ± 0,2 ^{b/C}	4,0 ± 0,3 ^{a/C}

Los resultados están representados como media ± desviación estándar de cuatro réplicas (n = 4).

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05) entre días de conservación o entre tratamientos, respectivamente.

Se observó un incremento en el recuento de microorganismos aerobios mesófilos en todos los tratamientos evaluados durante el periodo de conservación. El último día de conservación, los trozos de yuca que habían sido envasados con el *film* impermeable en un 20% de oxígeno presentaron la menor carga de microorganismos mesófilos aerobios [3,6 ± 0,2 Log (ufc/g)], mientras que el

control envasado con el *film* más permeable y aire mostró mayor carga [$4,6 \pm 0,2$ Log (ufc/g)]. Las diferencias en el recuento en microorganismos aerobios mesófilos entre el control y el resto de tratamientos estuvieron comprendidas entre 0,3 y 1,0 unidades logarítmicas. Hay que señalar que, en todas las atmósferas evaluadas, la carga de microorganismos aerobios mesófilos cumplieron con la normativa española para “comidas preparadas envasadas a base de vegetales crudos” (RD. 3484/2000). Ayhan *et al.* (2008) estudiaron el efecto del envasado en la calidad microbiológica de rodajas de zanahoria durante 21 días de conservación a 4°C y no observaron diferencias significativas en el recuento de microorganismos aerobios mesófilos entre las atmósferas evaluadas. Sí se produjo un aumento de la carga durante la conservación: desde aproximadamente 4,0 Log (ufc/g) en el momento del procesado hasta 8,0 Log (ufc/g) en el último día de conservación. En zanahoria rallada, Lima *et al.* (2003) evaluaron el efecto del envasado en aire y en atmósfera modificada (5% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono). Observaron que en ambos casos se produjo un incremento del recuento de microorganismos aerobios mesófilos durante la conservación, que fue mayor en las zanahorias envasadas en aire, que en las envasadas bajo atmósfera modificada. Sin embargo, desde el punto de vista de la calidad higiénico-sanitaria, el límite se estableció al octavo día ya que a partir de ese día la carga microbiológica del producto era muy elevada. Rocha *et al.* (2007) también describieron que se produjo un incremento del recuento de microorganismos aerobios mesófilos durante diez días de conservación a 2°C en la zanahoria rallada envasada al vacío y en aire, aunque el mayor recuento lo presentó la zanahoria que había sido envasada en aire. Carlin *et al.* (1990) determinaron, en zanahorias ralladas, que concentraciones de dióxido de carbono por encima del 20% y de oxígeno por debajo del 2%, indujeron al deterioro del producto debido al crecimiento de bacterias lácticas. Sin embargo, cuando la concentración en dióxido de carbono estaba en torno al 15-20% y la de oxígeno en un 5% el

producto se conservó en buenas condiciones. Silva *et al.* (2003) también describieron, al evaluar distintas atmósferas en yuca mínimamente procesada [bolsas con y sin vacío, y bandejas (aire)], un incremento de la carga de microorganismos mesófilos durante los seis días de conservación a 25°C; sin embargo, en este caso, dicho incremento fue de aproximadamente cinco ciclos logarítmicos: siendo la carga inicial de aproximadamente 4,5 Log (ufc/g) y la final de 9,0 Log (ufc/g). Tanto el recuento inicial en la yuca como a los seis días de conservación fue muy superior a los obtenidos en esta Tesis Doctoral.

Como se observa en la [Tabla 9](#), también se produjo un incremento en el recuento de microorganismos aerobios psicrófilos en todos los tratamientos evaluados durante el periodo de conservación. A los ocho días de conservación, los trozos envasados con el *film* impermeable y un 15% de oxígeno fueron los que mayor carga en psicrófilos presentaron [$5,2 \pm 0,1$ Log (ufc/g)], seguidos de los control y los envasados con un 10 y 5% de oxígeno [$4,0 \pm 0,2$ Log (ufc/g)] y los envasados en un 20% de oxígeno [$3,4 \pm 0,0$ Log (ufc/g)]. Pilon *et al.* (2006) observaron un aumento de la carga de microorganismos psicrófilos aerobios en las rodajas de zanahorias envasadas bajo tres atmósferas (aire, vacío y 2% de oxígeno y 10% de dióxido de carbono) durante 21 días a 1°C. Silva *et al.* (2003) describieron como la carga de microorganismos psicrófilos aerobios fue similar en la yuca envasada en bolsas multicapa de poliolefina, con y sin vacío. Además, en ambos casos se produjo un incremento significativo durante la conservación a 10°C, siendo la carga a los doce días de aproximadamente 9 Log (ufc/g). Otros autores (Alves *et al.*, 2005) también observaron una diferencia notable en el recuento de psicrófilos aerobios entre distintos tipos de envasado de la yuca mínimamente procesada (bandeja, bolsas al vacío y bolsas sin vacío). En todos los casos se produjo un incremento de la carga, pero fue superior en la yuca envasada en bandejas.

Tabla 9. Recuento de microorganismos psicrófilos aerobios [Log (ufc/g)] de yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas conservada durante ocho días a 5°C.

Atmósferas modificadas	Tiempo de conservación (días)			
	0	3	6	8
<i>Film más permeable (19.200 ml/m²*día*atm)</i>				
Control	— c/A	1,4 ± 0,3 b/A	3,8 ± 0,3 a/A	4,0 ± 0,3 a/B
<i>Film impermeable</i>				
20% O ₂	— d/A	1,1 ± 0,5 c/AB	3,8 ± 0,1 a/A	3,4 ± 0,0 b/C
15% O ₂	— d/A	1,4 ± 0,1 c/A	3,4 ± 0,1 b/B	5,2 ± 0,1 a/A
10% O ₂	— d/A	0,80 ± 0,20 c/C	3,2 ± 0,2 b/B	3,9 ± 0,2 a/B
5% O ₂	— c/A	0,00 ± 0,00 c/D	3,4 ± 0,2 b/B	4,0 ± 0,1 a/B

Los resultados están representados como media ± desviación estándar de cuatro réplicas (n = 4).

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05) entre días de conservación o entre tratamientos, respectivamente.

Del mismo modo se produjo, durante el periodo de conservación, un incremento en el recuento de hongos y levaduras en todos los tratamientos evaluados, excepto en el de la yuca envasada en un 10% de oxígeno que se mantuvo constante (Tabla 10). Además, la yuca de este tratamiento y la conservada con un 5% de oxígeno fueron las que mostraron menor recuento de hongos y levaduras el último día de conservación. También en yuca mínimamente procesada, Alves *et al.* (2005) evaluaron tres tipos de envasado (bandeja envuelta con un *film* de policloruro de vinilo, bolsas con aire y bolsas al vacío) y observaron que, a los siete días de conservación a 5°C, el recuento de hongos y levaduras en la yuca envasada en bandeja [4,7 Log (ufc/g)] fue superior que en el

resto de los envases evaluados: 4,2 Log (ufc/g) en la yuca envasada al vacío y 3,4 Log (ufc/g) en el tubérculo envasado en bolsas con aire.

Tabla 10. Recuento de hongos y levaduras [Log (ufc/g)] de yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas conservada durante ocho días a 5°C.

Atmósferas modificadas	Tiempo de conservación (días)			
	0	3	6	8
<i>Film más permeable (19.200 ml/m²*día*atm)</i>				
Control	— d/A	0,7 ± 0,2 c/B	1,8 ± 0,3 b/A	2,4 ± 0,2 a/A
<i>Film impermeable</i>				
20% O ₂	— c/A	1,4 ± 0,0 b/A	1,5 ± 0,0 b/A	2,1 ± 0,2 a/AB
15% O ₂	— c/A	0,50 ± 0,00 b/BC	0,70 ± 0,20 b/B	2,6 ± 0,5 a/A
10% O ₂	— a/A	0,60 ± 0,40 a/BC	0,00 ± 0,00 a/C	0,80 ± 0,90 a/C
5% O ₂	— c/A	0,30 ± 0,30 b/C	0,00 ± 0,00 c/C	1,5 ± 0,0 a/BC

Los resultados están representados como media ± desviación estándar de cuatro réplicas (n = 4).

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05) entre días de conservación o entre tratamientos, respectivamente.

En las etapas evaluadas con anterioridad, el contenido en glucósidos cianogénicos no sufrió una variación importante durante la conservación del producto ni en función del tratamiento evaluado. Además, en todas las determinaciones el contenido en glucósidos cianogénicos estuvo por debajo del límite de seguridad. Es por lo que desde esta etapa y en las sucesivas se optó por no cuantificar los glucósidos cianogénicos.

En la [Figura 89a](#) y [89b](#) se representa la evaluación del aspecto general y del color de los trozos de yuca crudos por el panel de catadores.

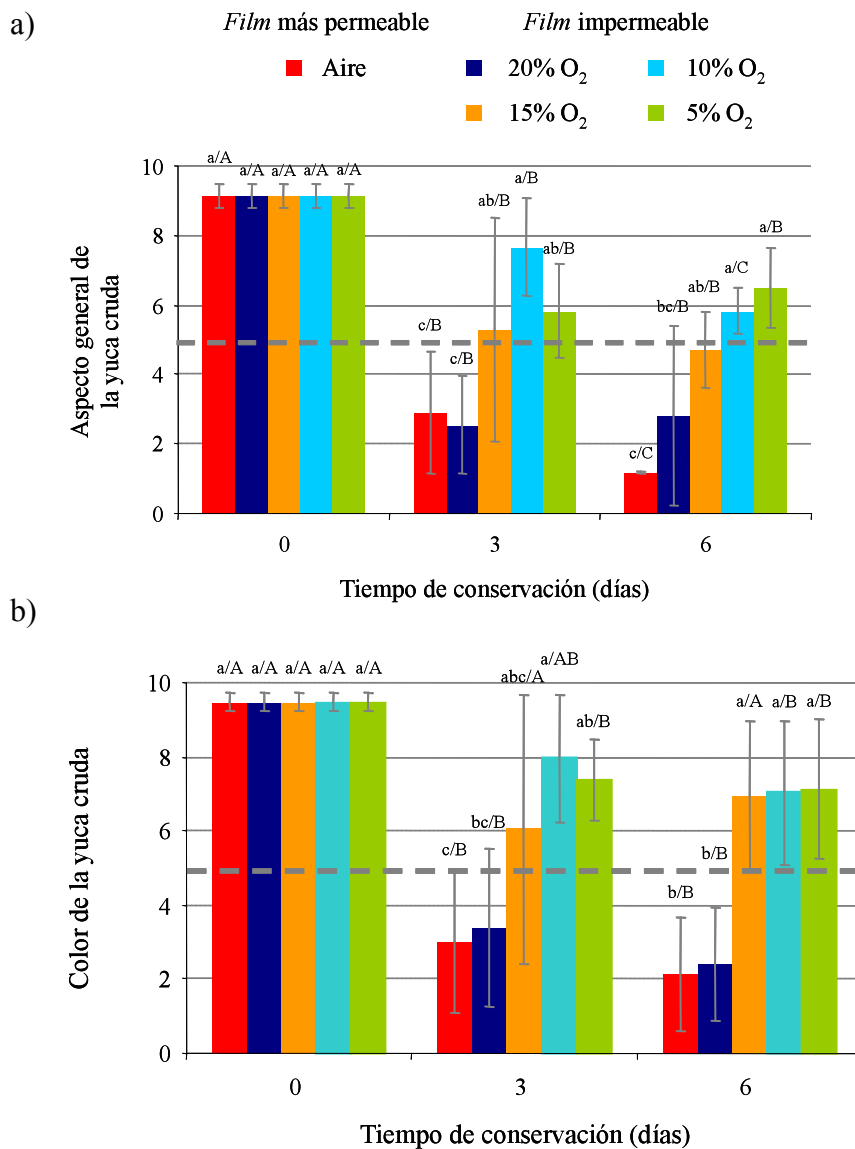


Figura 89. Aspecto general (a) y color (b) de los trozos de yuca cruda, envasados en distintas atmósferas modificadas conservados durante seis días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Con el tiempo de conservación los panelistas apreciaron un deterioro en todos los tratamientos evaluados, siendo las barquetas selladas con el *film* más permeable y con el *film* impermeable y un 20% de oxígeno las peor valoradas (por debajo del límite de aceptación desde el tercer día de conservación). En cambio, la

yuca que mejor valoración recibió en ambos parámetros fue la envasada en un 10 ó 5% de oxígeno, valoradas por encima del límite de aceptación hasta el último día de conservación.

En el momento del procesado el 100% de los catadores comprarían cualquier barqueta, independientemente de la atmósfera en la que fue envasada la yuca (Figura 90). Sin embargo, al tercer día de conservación los catadores se decantaron por la yuca envasada con el *film* impermeable y un 15, 10 ó 5% de oxígeno (67, 100 ó 67%, respectivamente) rechazando los trozos de yuca que fueron envasados con el *film* más permeable y aire o con el *film* impermeable y un 20% de oxígeno. Al sexto día de conservación, el 100% de los catadores eligieron la yuca envasada con el *film* impermeable y un 10% de oxígeno mientras que un 50% del panel de cata se decantó por los trozos de yuca que fueron envasados con el *film* impermeable y un 5% de oxígeno; la yuca envasada en el resto de atmósferas evaluadas fueron rechazadas.

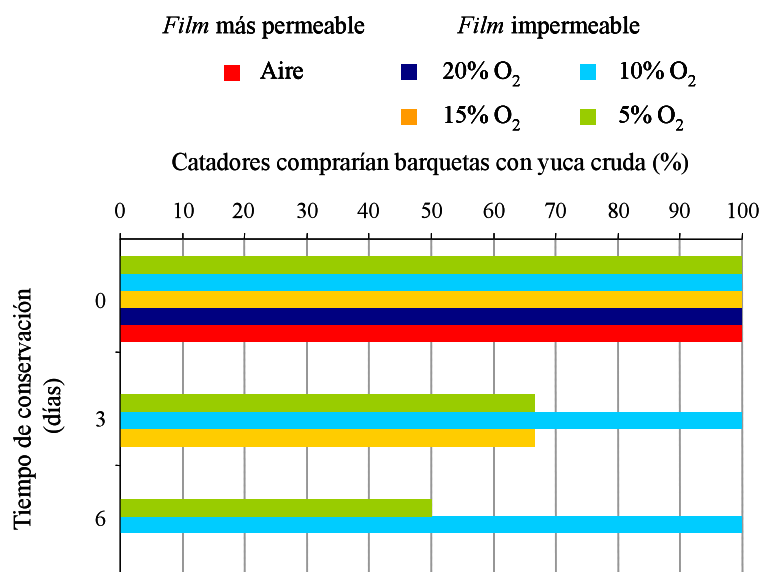


Figura 90. Catadores (%) que comprarían yuca cruda, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante seis días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

En cuanto al aspecto del producto cocinado, los panelistas no detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados durante los tres primeros días de conservación (Figura 91).

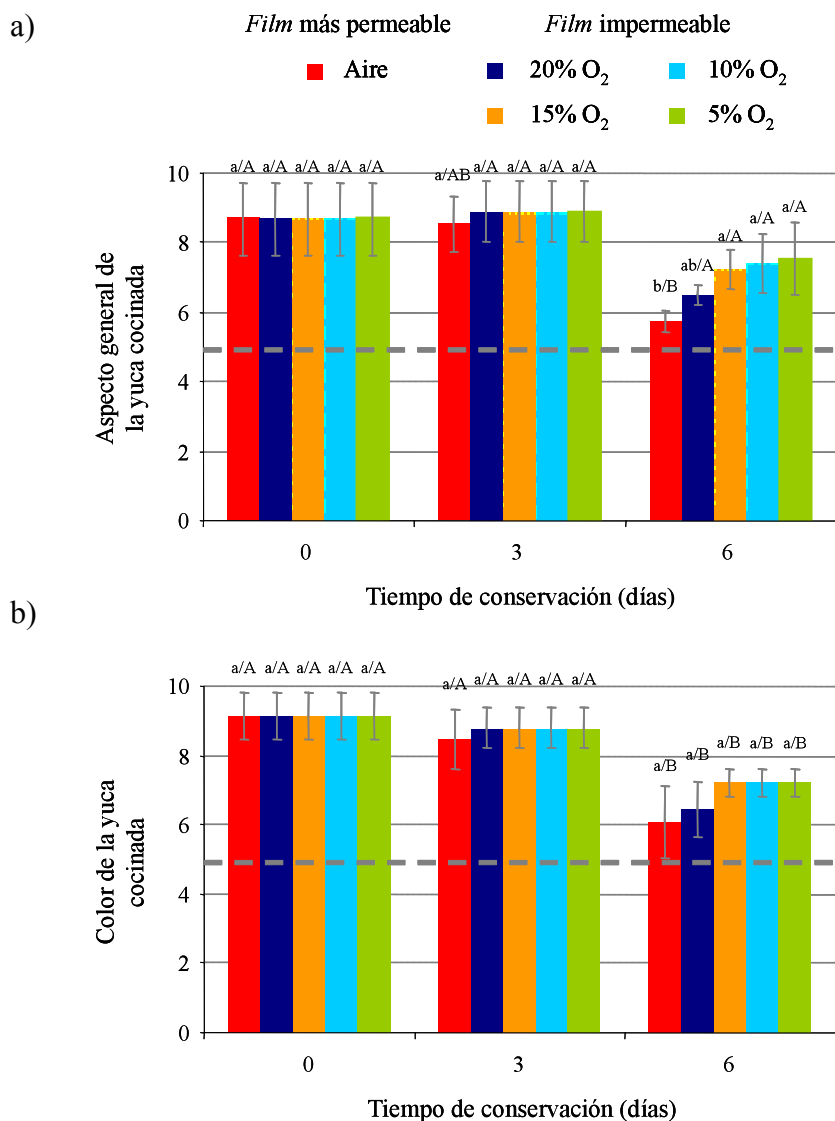


Figura 91. Valoración del aspecto general (a) y color (b) de la yuca cocinada, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante seis días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Sin embargo, al sexto día el aspecto del control fue peor valorado que el de la yuca envasada con un *film* impermeable y una concentración de oxígeno igual o menor del 15% (Figura 91a). Si bien los panelistas no observaron diferencias en el color de la yuca cocinada envasada en las distintas atmósferas durante el periodo de conservación, al sexto día valoraron peor el color de la yuca que en los primeros días (Figura 91b). No obstante, tanto el aspecto como el color de la yuca estuvieron valorados por encima del límite de aceptación durante todo el periodo de conservación.

En ningún caso los panelistas detectaron sabores extraños en los trozos de yuca cocinados.

Una vez evaluados los parámetros sensoriales en la yuca cruda y en la cocinada, el catador seleccionó la yuca que, en su opinión, tenía la mejor calidad sensorial (Figura 92).

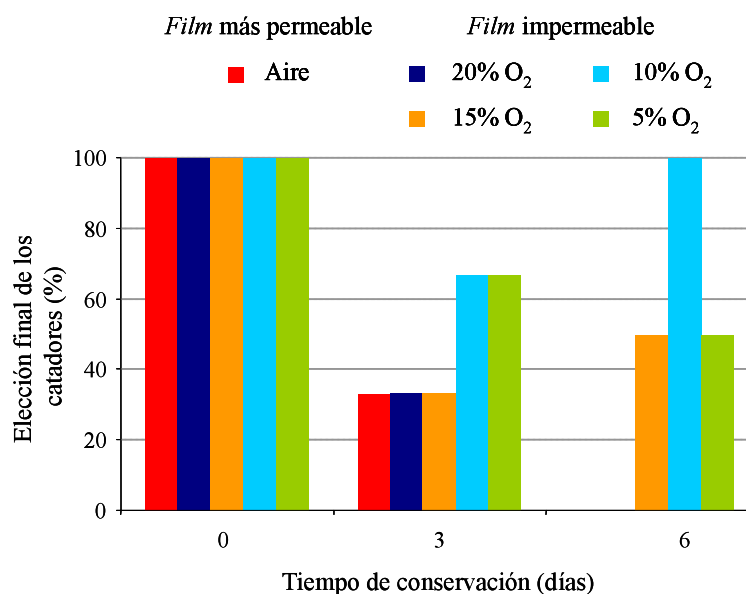


Figura 92. Elección final de los catadores (%) de yuca mínimamente procesada, envasada en distintas atmósferas modificadas conservada durante seis días a 5°C. Permeabilidad del *film* más permeable (P-Plus 180) al oxígeno y al dióxido de carbono: 19.200 ml/m²*día*atm.

En el momento del procesado los catadores no se inclinaron hacia ningún tratamiento en particular. Sin embargo, tres días después del procesado el 67% de los catadores seleccionaron la yuca que se envasó en un 10 o un 5% de oxígeno frente a un 33% de los catadores que eligieron la yuca control y la envasada con un 20 o 15% de oxígeno. Después de seis días de conservación el 100% de los catadores seleccionaron los tubérculos conservados con un 10% de oxígeno frente a un 50% que eligieron las del 15 y 5%.

En el análisis sensorial de rodajas de zanahoria envasadas en aire o con altas o bajas concentraciones de oxígeno, realizado por Ayhan *et al.* (2008), observaron que muchos de los atributos sensoriales evaluados (aspecto general, color, olor, textura, sabor y aceptabilidad global) no fueron aceptables a partir del séptimo día de conservación en todas las atmósferas evaluadas sin diferencias entre los tratamientos. Rocha *et al.* (2007) también evaluaron sensorialmente zanahoria rallada y envasada en aire o al vacío. No detectaron diferencias en la valoración global del producto y además todos los atributos (aspecto general, olor, sabor, textura y valoración global) fueron valorados positivamente durante los ocho días de conservación a 2°C. Alasalvar *et al.* (2005) llevaron a cabo un análisis sensorial en dos variedades de zanahoria (naranja y morada) envasadas en aire o con alta o baja concentración de oxígeno. Los catadores no detectaron diferencias, en el aspecto general, el olor y el pardeamiento, entre las atmósferas evaluadas durante la conservación de las tiras de zanahoria naranja; además dichos parámetros fueron valorados positivamente durante los trece días de conservación a 5°C. En cambio, las tiras de zanahoria morada no fueron sensorialmente aceptables a partir del décimo día, independientemente de la atmósfera evaluada. Alves *et al.* (2005) evaluaron el aspecto y el sabor de la yuca cocinada que había sido envasada en bolsas al vacío, en bolsas sin vacío o en bandejas. Los atributos sensoriales evaluados después de 24 días de conservación a 5°C fueron mejor valorados en la yuca envasada al vacío. Esto concuerda con lo obtenido por Tudela *et al.* (2003)

que recomendaron el envasado al vacío de papas mínimamente procesadas para mantener la calidad sensorial durante seis días de conservación a 4°C.

Aunque la vascularización fue menos severa en los trozos envasados en las barquetas selladas con un *film* impermeable y con un 5% de oxígeno, la presencia de una alta condensación en la superficie de estos envases hizo que se descartara este tratamiento y se seleccionara el envasado en un *film* impermeable y con una concentración inicial de oxígeno del 10%. En dicho tratamiento apenas se produjo modificación del color de la yuca y fue microbiológicamente seguro. Además estos tubérculos fueron los seleccionados por el panel de catadores como los que menor detrimento sufrían en el aspecto general y color de los trozos crudos y cocinados, siendo además el resultante de la elección final.

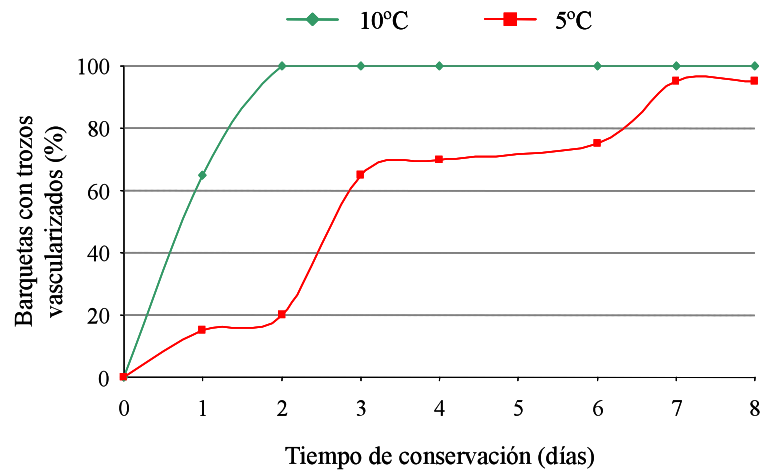
4.8. Evaluación de la temperatura de conservación de yuca procesada mínimamente

El control de la temperatura es el factor más importante para minimizar los efectos del procesado en los productos hortofrutícolas (Brecht, 1995) ya que controla el desarrollo de microorganismos, frena los cambios fisiológicos que dan lugar a los procesos químicos y bioquímicos que repercuten en la pérdida de calidad del producto y permite una adecuada actuación del envasado bajo atmósferas modificadas (Lobo y González, 2003). Numerosos autores han estudiado el efecto de la temperatura de conservación en la calidad de tubérculos procesados mínimamente como las zanahorias (Lafuente *et al.*, 1996; Barry-Ryan *et al.*, 2000; Lavelli *et al.*, 2006; Spagnol *et al.*, 2006; Cliffe-Byrnes y O'Beirne, 2007; Pereira *et al.*, 2007), papas (Pineli *et al.*, 2006), batatas (Erturk y Picha, 2006; Erturk y Picha, 2007; Erturk y Picha, 2008), jícama (Aquino-Bolaños *et al.*, 2000; Aquino-Bolaños y Mercado-Silva, 2004), rábano (Del Águila *et al.*, 2006), remolacha (Vitti *et al.*, 2005) y yuca (Lund *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2003). En este trabajo se evaluó el efecto de la temperatura de conservación (5 y 10°C) sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada.

En la [Figura 93a](#) se muestra la evolución de la vascularización en las barquetas que contenían trozos de yuca conservadas durante ocho días a 5 ó 10°C. El porcentaje de barquetas vascularizadas aumentó para ambas temperaturas. A los dos días después del procesado, el 100% de las barquetas almacenadas a 10°C presentaron trozos de yuca vascularizados, mientras que en las conservadas a 5°C dicho porcentaje no se alcanzó, aunque a partir del séptimo día el 95% de las barquetas presentaron dicho deterioro. El porcentaje de trozos con vascularización ([Figura 93b](#)) aumentó en las dos temperaturas durante la conservación. Dicho deterioro se manifestó a partir del primer día, independientemente de la temperatura evaluada; sin embargo, dos días después del corte de la yuca, el porcentaje en los trozos conservados a 10°C fue del 100% frente a un 10% de los

conservados a 5°C. En el caso de los almacenados a 5°C, el último día de conservación el 83% de trozos presentaron estriado vascular.

a)



b)

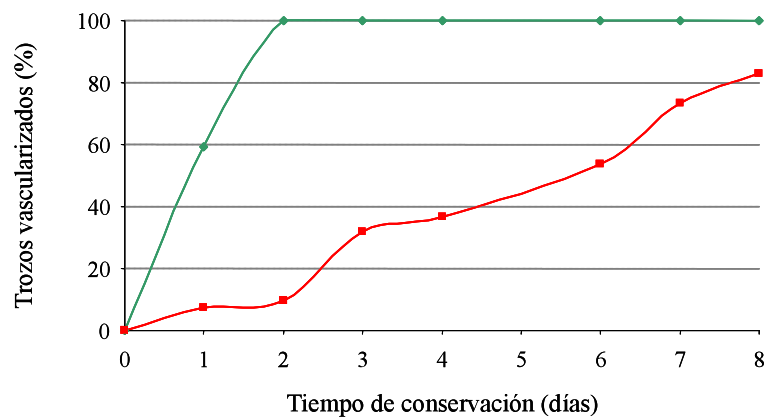


Figura 93. Efecto de la temperatura de conservación (5 ó 10°C) de la yuca mínimamente procesada sobre el estriado vascular durante ocho días de conservación: barquetas con vascularización (a) y trozos vascularizados (b).

En la Figura 94 se muestra la severidad del estriado vascular en los trozos de yuca conservados a 5 ó 10°C. La severidad fue muy superior en la yuca almacenada a 10°C. Mientras que al séptimo día de conservación la severidad fue del 100% en la yuca conservada a 10°C, a los ocho días de conservación la conservada a 5°C no superó el 20%.

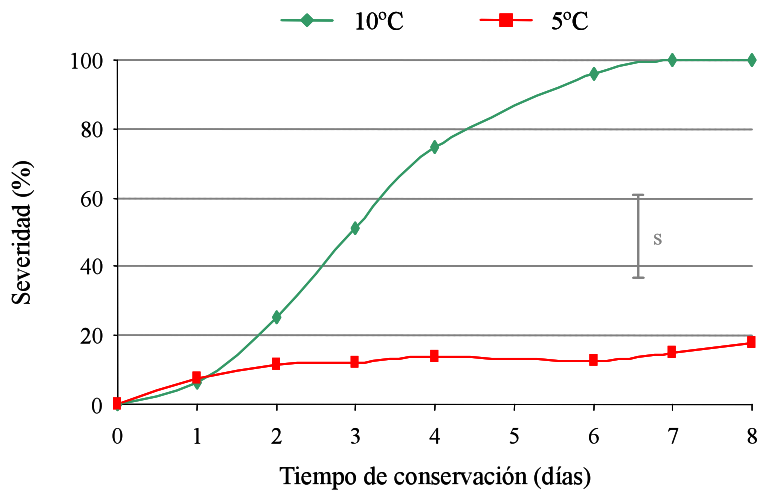
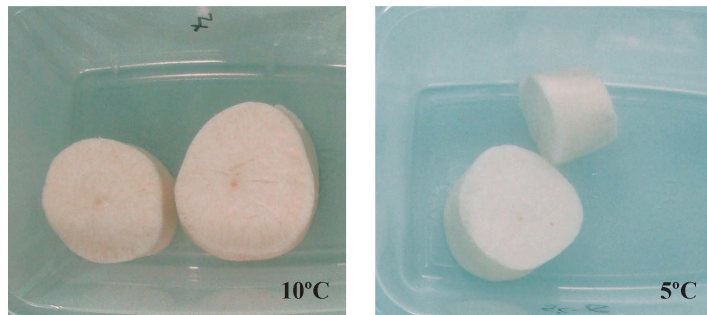


Figura 94. Efecto de la temperatura de conservación (5 ó 10°C) de la yuca mínimamente procesada sobre el estriado vascular durante ocho días de conservación: severidad del deterioro.

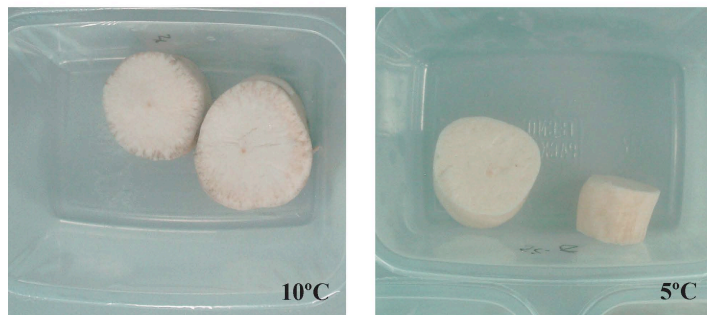
Por lo tanto, la temperatura de conservación está directamente relacionada con la incidencia de estriado vascular. Este hecho también fue descrito por Silva *et al.* (2003) al almacenar yuca procesada a 10 y 25°C. Así, determinaron que no sólo el tipo de envasado es importante, sino que además la temperatura de conservación es un factor a tener en cuenta para evitar el estriado vascular, ya que la severidad de este deterioro fue menor al conservar la yuca procesada a 10°C que a 25°C. Lund *et al.* (2000) también observaron la influencia de la temperatura de conservación en el deterioro de la yuca mínimamente procesada, ya que los troncos de yuca envasados al vacío en bolsas de poliepropileno durante 12 días, a 5°C, presentaron menor oscurecimiento que los almacenados a temperatura ambiente.

En la Foto 26 se puede observar la severidad del estriado vascular en los trozos de yuca conservados a 10 ó 5°C durante ocho días.

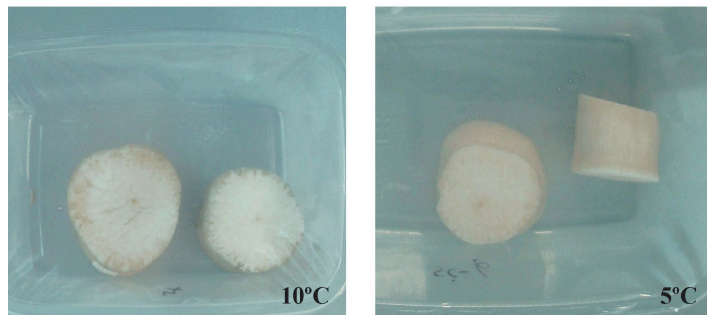
Día 0



Día 3



Día 6



Día 8

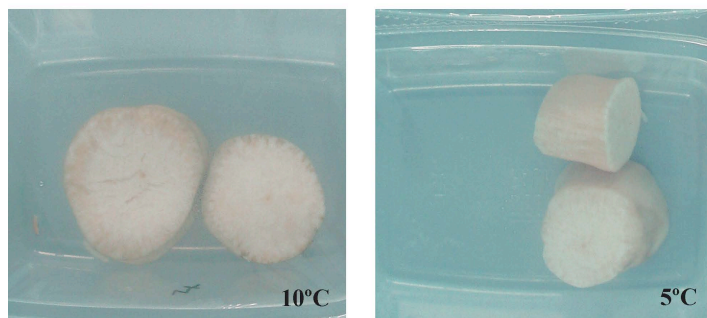


Foto 26. Aspecto de los trozos de yuca mínimamente procesada y conservada durante ocho días a 5 ó 10°C.

El deterioro fisiológico más importante en la zanahoria mínimamente procesada es el blanqueamiento superficial que se manifiesta en la superficie del tubérculo en forma de manchas blancas. Dicho deterioro se hace más evidente cuando la temperatura de conservación de este tubérculo no es la idónea, tal y como ocurrió en el estudio descrito por Lavelli *et al.* (2006) al comparar dos temperaturas de conservación (4 y 10°C) durante diez días. El blanqueamiento en las rodajas de zanahoria conservadas a 10°C fue muy superior al de las almacenadas a 5°C. Aquino-Bolaños y Mercado-Silva (2004) también observaron que la temperatura de conservación de la jícama (*Pachyrhizus erosus* L.) mínimamente procesada está directamente relacionada con el deterioro fisiológico de este producto, dado que a 10°C los cambios de color en los trozos de este tubérculo no se manifestaron; en cambio, en los conservados a 20°C el cambio fue evidente, desde tonalidades blancas características de este tubérculo hasta colores amarillentos que son característicos de dicho deterioro. Esto corrobora lo que habían observado Aquino-Bolaños *et al.* (2000) cuando envasaron trozos de jícama a 0, 5 ó 10°C.

El contenido en oxígeno, dióxido de carbono y etileno en el interior de las barquetas se modificó en función de la temperatura de conservación, ya que de ella depende la tasa respiratoria, la producción de etileno y el crecimiento microbiano. En la [Figura 95a](#) se muestra la evolución del contenido de oxígeno en el interior de las barquetas conservadas a 5 ó 10°C. Mientras que el contenido de oxígeno en el interior de las barquetas que fueron conservadas a 5°C se mantuvo constante durante la conservación, en las almacenadas a 10°C se produjo una clara disminución desde el momento del procesado ($9,7 \pm 0,4\%$) hasta el último día de conservación ($6,3 \pm 2,7\%$). El contenido en dióxido de carbono en el interior de las barquetas se incrementó durante la conservación, independientemente de la temperatura de conservación, aunque fue superior en las barquetas almacenadas a 10°C ([Figura 95b](#)).

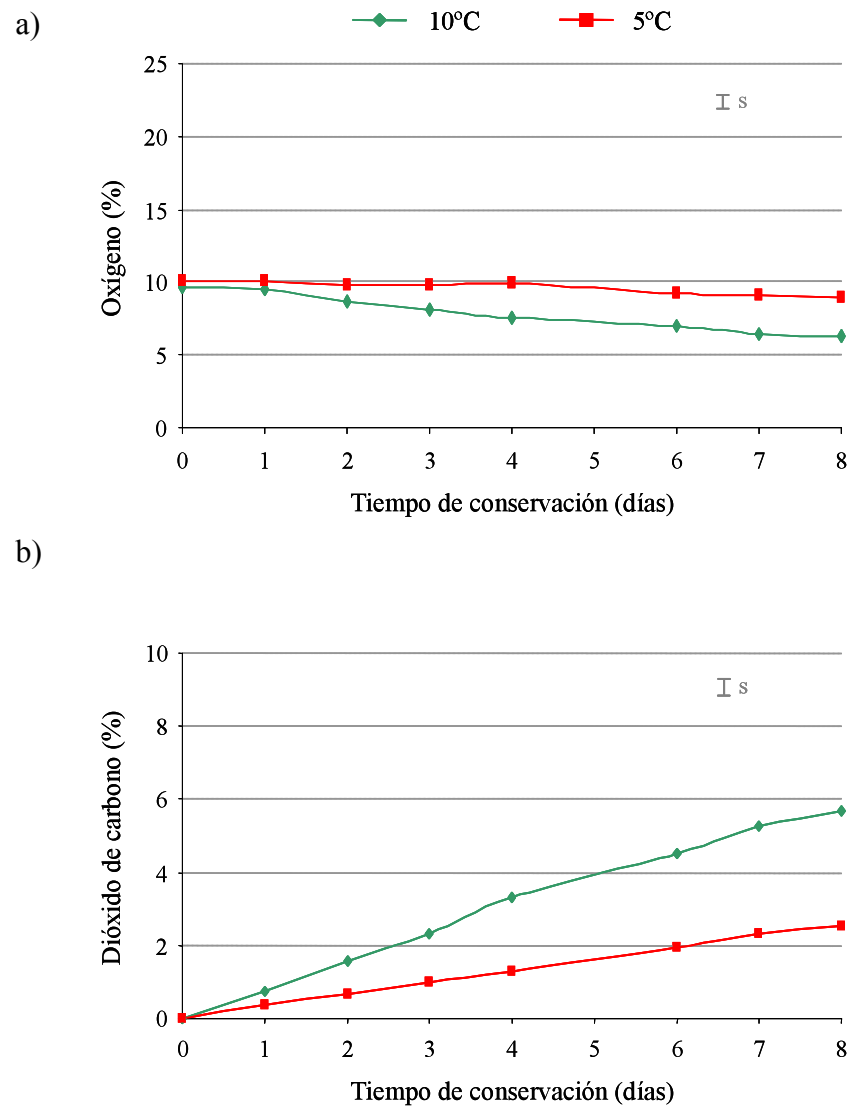


Figura 95. Composición en: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) acumulado en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada conservadas durante ocho días a 5 ó 10°C.

Según los datos obtenidos en esta Tesis Doctoral la temperatura influye notablemente en la actividad fisiológica de la yuca procesada, tal y como observaron Silva *et al.* (2003) cuando disminuyeron la temperatura de conservación de yuca procesada, de 25 a 10°C, produciéndose un descenso de la concentración de dióxido de carbono. Barry-Ryan *et al.* (2000) envasaron tiras de zanahoria con distintos tipos de *films* conservándolas durante diez días a 3 ó 8°C.

Observaron que a 3°C la acumulación de dióxido de carbono en las bolsas fue menor que en las conservadas a 8°C. Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007) describieron el mismo comportamiento cuando envasaron discos de zanahorias en aire empleando *films* con distintas permeabilidades y las conservaron a dos temperaturas de conservación, 4 ó 8°C durante seis días. A los tres días de conservación a 4°C, independientemente del *film* evaluado, la concentración de oxígeno y dióxido de carbono fue del 7% y 12%, respectivamente, mientras que a 8°C fue del 4% y 15%, respectivamente; a los seis días aumentó la concentración de dióxido de carbono en los envases conservados a 4°C hasta un 16%, mientras que en los almacenados a 8°C aumentó hasta un 26%. Estudios realizados por Padda y Picha (2008) corroboran lo descrito con anterioridad. Dichos autores señalaron que en el interior de las bolsas de batatas mínimamente procesadas almacenadas a 5°C durante ocho días, se acumuló más dióxido de carbono y menos oxígeno que en las conservadas a 0°C, lo cual también concuerda con lo descrito por Erturk y Picha (2007) con rodajas de batata y por Aquino-Bolaños *et al.* (2000) con raíces de jícama. El efecto de la temperatura en la reducción de la respiración, también fue verificado por López-Osorio y Chaves (1997) en remolacha (*Beta vulgaris* L.) rallada y envasada en bandejas.

La acumulación de etileno en el interior de las barquetas almacenadas a 5 ó 10°C aumentó durante la conservación (Figura 96). Durante los primeros cuatro días de conservación, la acumulación fue menor en las barquetas conservadas a 5°C. Sin embargo, a partir de ese día no se observaron diferencias entre las dos temperaturas, acumulándose un volumen medio de $1,7 \pm 0,6$ μ l de etileno el último día de conservación. En las barquetas almacenadas a 10°C la acumulación aumentó hasta el tercer día de conservación ($1,4 \pm 0,4$ μ l etileno) y se mantuvo constante hasta el octavo día; en cambio, en las barquetas almacenadas a 5°C la producción aumentó progresivamente hasta el último día de conservación. En general, los tubérculos mínimamente procesados producen una cantidad de etileno

muy baja, tal y como señalaron Spagnol *et al.* (2006) al realizar mediciones de etileno en zanahorias procesadas y conservadas a 1, 5 ó 11°C durante catorce días. Ni siquiera a la temperatura más alta, detectaron etileno en el interior de los envases. Además, Izumi *et al.* (1996) verificaron que la producción de etileno en zanahorias mínimamente procesadas fue inferior a 0,1 $\mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$ cuando fueron conservadas a 0, 5 ó 10°C.

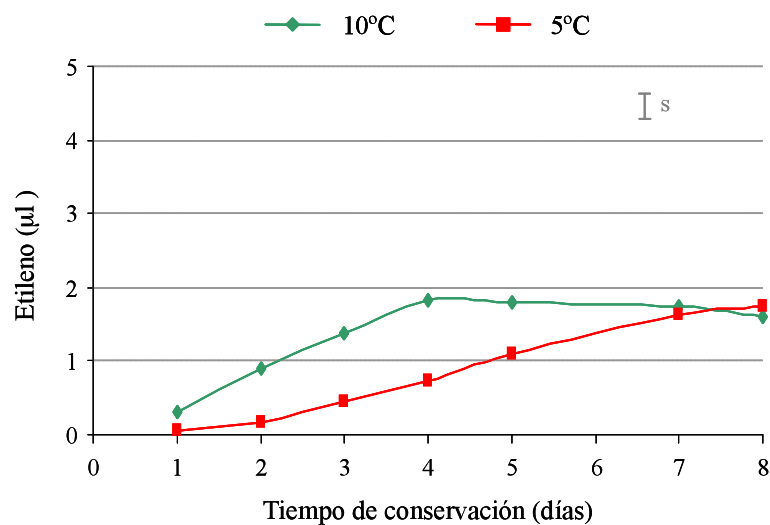


Figura 96. Acumulación de etileno (μl) en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C.

Durante la conservación, la pérdida de peso de los trozos de yuca conservados a 5 ó 10°C fue mínima, no superando el 0,050% (Figura 97). Dicha pérdida de peso fue similar durante los seis primeros días de conservación para las dos temperaturas evaluadas. En cambio, el último día de conservación la yuca almacenada a 10°C presentó una pérdida de peso ligeramente superior a la conservada a 5°C. Erturk y Picha (2007) observaron que la pérdida de peso fue casi el doble en las rodajas de batata mínimamente procesadas que fueron conservadas a 8°C durante 14 días que en las almacenadas a 2°C. Del Águila *et al.* (2006) señalaron que a los diez días de conservación a 1 ó 5°C, la pérdida de peso

del rábano mínimamente procesado fue del 2 y 3%, respectivamente, mientras que a 10°C fue del 5%. Vitti *et al.* (2005) observaron este comportamiento en beterrada mínimamente procesada. Así, determinaron que a medida que aumentó la temperatura de conservación (de 0 a 15°C) mayor pérdida de peso se produjo.

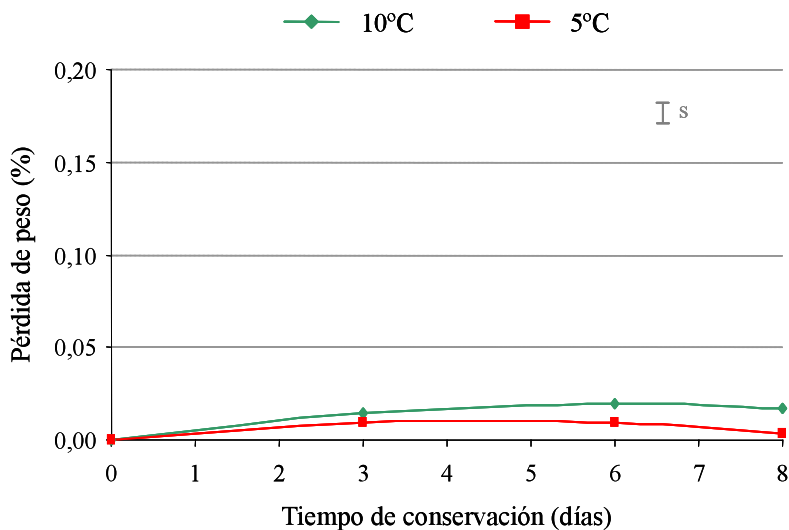


Figura 97. Pérdida de peso (%) de yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C.

Además de la pérdida de peso, los trozos de yuca almacenados a 10°C manifestaron una mayor deshidratación durante la conservación que los conservados a 5°C. Desde el tercer día de conservación los trozos de yuca almacenados a 10°C presentaron deshidratación; sin embargo, en los trozos de yuca almacenados a 5°C no se manifestó dicho deterioro (Foto 27).

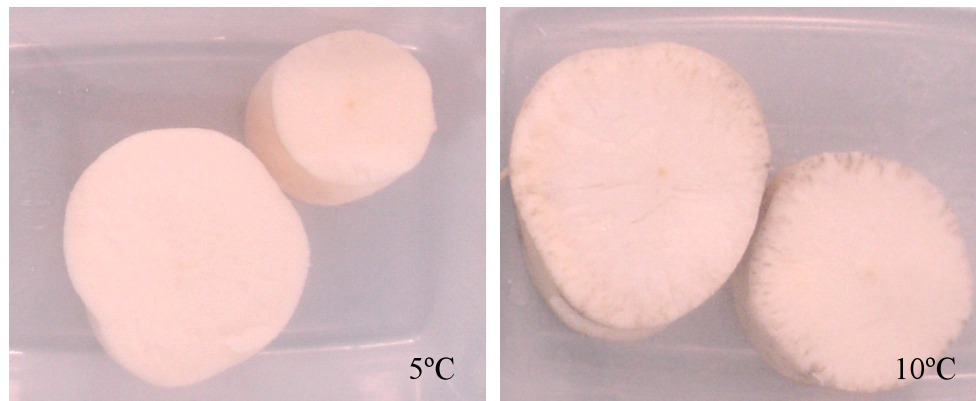


Foto 27. Aspecto de los trozos de yuca a los tres días de conservación a 5 ó 10°C.

La luminosidad de los trozos de yuca almacenados durante ocho días de conservación a 5 y 10°C se muestra en la **Figura 98**.

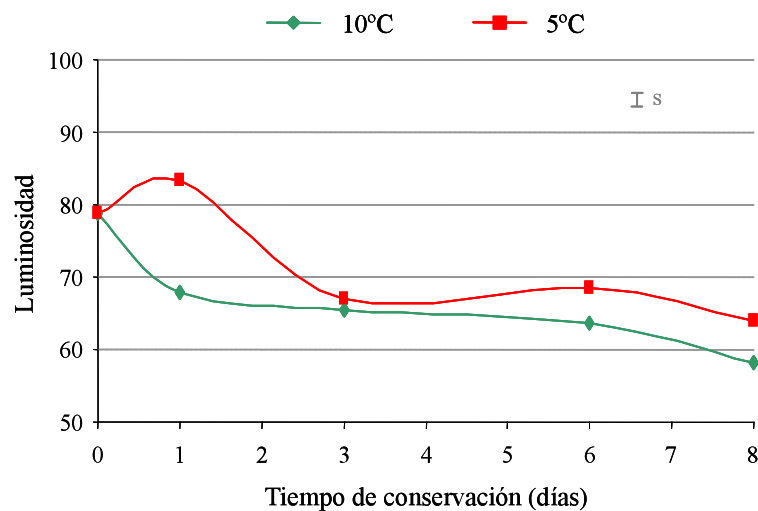


Figura 98. Luminosidad de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C.

Independientemente de la temperatura evaluada, se produjo un descenso en la luminosidad en los tubérculos mínimamente procesados durante la conservación, lo que indica una pérdida del color blanco característico de la yuca. La luminosidad fue ligeramente mayor para la yuca conservada a 5°C a partir del

momento del corte (en que tenía una luminosidad de 79 ± 1) y hasta el final de la conservación de tal manera que, a los ocho días de conservación, la luminosidad de los trozos fue 58 ± 2 en la yuca almacenada a 10°C y 64 ± 3 en la de 5°C . Del Águila *et al.* (2006) almacenaron rábanos mínimamente procesados a 1, 5 ó 10°C y, en todas las temperaturas evaluadas, la luminosidad descendió. Asimismo, Aquino-Bolaños y Mercado-Silva (2004) observaron que al conservar trozos de jícama a 20°C la luminosidad disminuyó durante los diez días después del corte; en cambio en los tubérculos almacenados a 10°C no se produjeron cambios significativos en el color.

El índice de blanqueamiento mostró el mismo comportamiento que la luminosidad (Figura 99a). Se produjo una disminución en los trozos conservados a ambas temperaturas, aunque esta disminución fue superior en los almacenados a 10°C . Dicha disminución estuvo directamente relacionada con la aparición del estriado vascular. El color se modificó (ΔE) en los trozos de yuca almacenados a ambas temperaturas, aunque en los trozos conservados a 10°C dicha modificación fue superior (21 ± 2) después de ocho días a la de los conservados a 5°C (15 ± 3) (Figura 99b). Esta modificación del color también la observaron Silva *et al.* (2003) al tercer día de conservación, cuando envasaron yuca procesada mínimamente en bandejas y la conservaron a 10 ó 25°C . La modificación del color producida durante la conservación se debió a la alta incidencia de estriado vascular en los trozos de yuca. Lund *et al.* (2000) confirmaron la importancia de la temperatura de conservación de la yuca mínimamente procesada. Esto es debido a que, a los doce días de conservación, observaron que el grado de oscurecimiento de los trozos de yuca fue mayor en aquellos tubérculos que habían sido almacenados a temperatura ambiente, mientras que en los conservados a 5°C dicho oscurecimiento fue mucho menor.

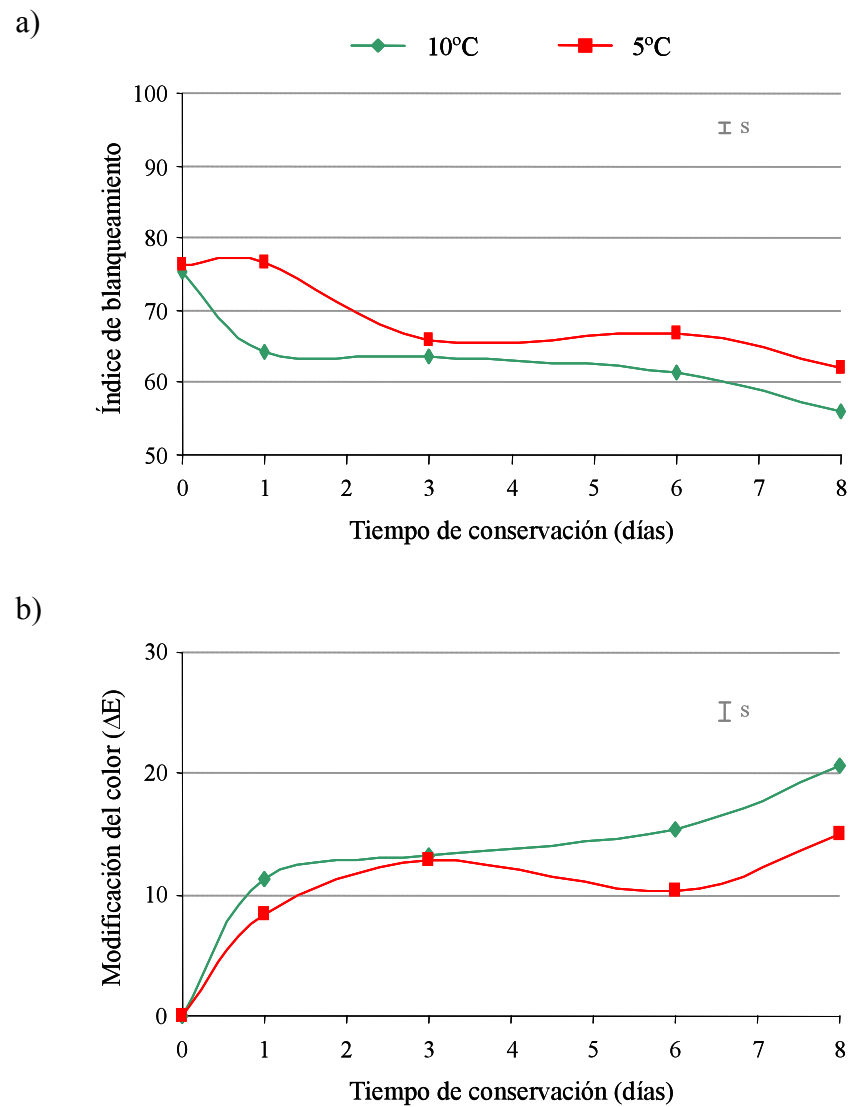


Figura 99. Índice de blanqueamiento (a) y modificación del color (ΔE) (b) de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C.

Las modificaciones de la actividad de la enzima peroxidasa durante la conservación de los trozos de yuca a 5 ó 10°C se muestran en la [Figura 100](#). Cuando la yuca fue conservada a 10°C la actividad de la enzima peroxidasa aumentó desde el momento del procesado ($99 \pm 6 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca) hasta el último día de conservación ($129 \pm 21 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca). Sin embargo, en la yuca almacenada a 5°C la actividad disminuyó desde 144 ± 3 hasta 121 ± 11

$\Delta\text{DO}/\text{min}\cdot\text{g}$. Durante el primer día de conservación la actividad fue superior en los trozos almacenados a 5°C , aunque a partir del tercer día fue similar para las dos temperaturas evaluadas. Pineli *et al.* (2006) procesaron dos variedades de papas y las almacenaron a 5 ó 15°C . La variedad “Ágata” conservada a 5°C no sufrió un incremento de la actividad peroxidasa, en cambio la misma variedad conservada a 15°C y la variedad “Monalisa” conservada a 5 ó 15°C vieron incrementada su actividad durante los nueve días de conservación.

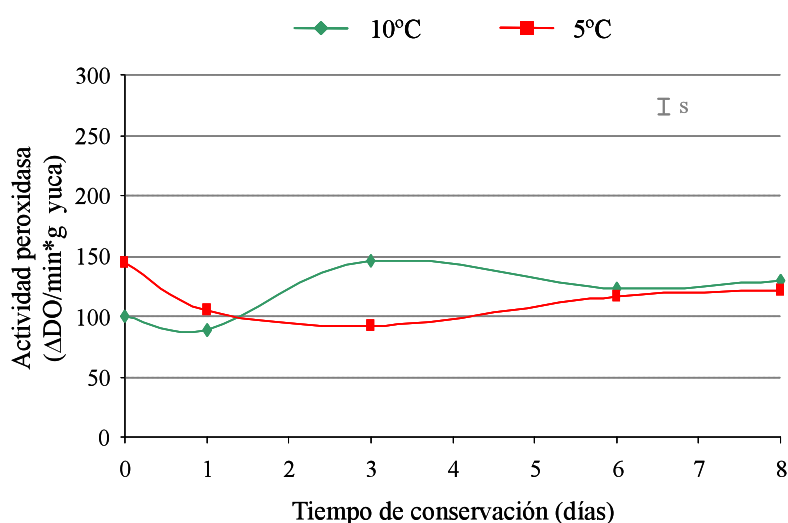


Figura 100. Actividad de la enzima peroxidasa de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C .

La actividad de la enzima polifenoloxidasa aumentó durante la conservación independientemente de la temperatura evaluada. Así, en los trozos almacenados a 10°C aumentó desde $9,2 \pm 0,8$ en el momento del procesado hasta 21 ± 3 $\Delta\text{DO}/\text{min}\cdot\text{g}$ yuca a los ocho días de conservación y en los conservados a 5°C dicho aumento fue desde $7,7 \pm 0,9$ hasta 19 ± 2 $\Delta\text{DO}/\text{min}\cdot\text{g}$ yuca. Durante el primer día de conservación la actividad fue superior en los trozos conservados a 10°C , aunque a partir del tercer día la actividad fue similar en las dos temperaturas (Figura 101). A pesar de que la incidencia de estriado fue mayor en los trozos conservados a 10°C , la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa a

esta temperatura no fue significativamente mayor. Estudios realizados en discos de jícama almacenados a 5, 7,5 ó 10°C mostraron que, independientemente de la temperatura de conservación evaluada, se produjo un incremento de la actividad de la enzima polifenoloxidasas el primer día de conservación que se mantuvo constante hasta el cuarto día, para luego descender hasta el noveno día de conservación (Aquino-Bolaños *et al.*, 2000). Durante la conservación no se observaron diferencias significativas entre las tres temperaturas estudiadas. Estos autores asociaron este incremento inicial con los daños sufridos en la raíz derivados de la operación de procesado. Por otro lado Aquino-Bolaños y Mercado-Silva (2004) evaluaron la actividad de estas dos enzimas en la parte externa e interna del parénquima de los trozos de jícama conservadas a 10 ó 20°C. La actividad de la enzima peroxidasa fue muy superior en la jícama conservada a 20°C, independientemente de la localización del tejido. En cambio, la actividad de la enzima polifenoloxidasas fue muy superior en la parte externa de la jícama conservada a 20°C.

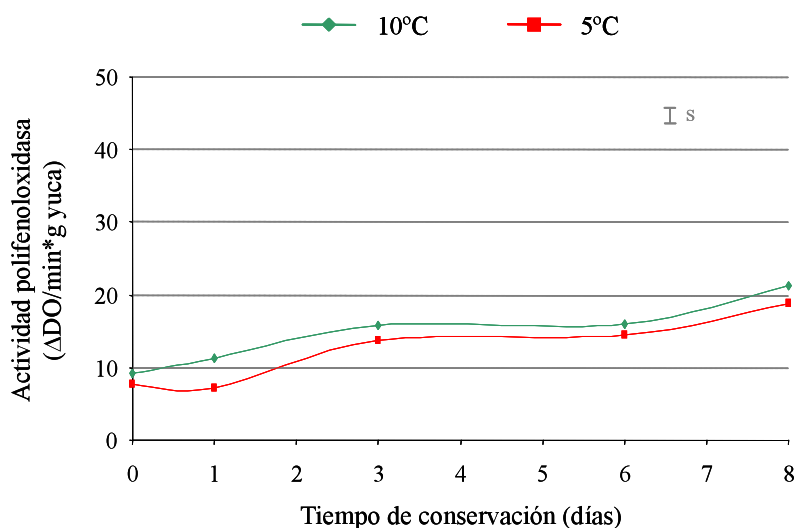


Figura 101. Actividad de la enzima polifenoloxidasas de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C.

Durante el periodo de conservación no se detectó la presencia de manchas amarillas en la yuca conservada a las temperaturas evaluadas.

La firmeza de los trozos de yuca cruda conservados a ambas temperaturas se mantuvo constante durante los ocho días de conservación con valores medios de $4,7 \pm 1,4$ N/g, no observándose diferencias entre las dos temperaturas. Barry-Ryan *et al.* (2000) observaron al envasar tiras de zanahorias en bolsas de polipropileno, que conservaron durante diez días a 3 u 8°C, una disminución de la firmeza que en el caso de las zanahorias conservadas a 8°C fue a partir del tercer día y en las conservadas a 3°C a partir del octavo día de conservación. Pineli *et al.* (2006) procesaron dos cultivares de papas y los almacenaron a 5 ó 15°C y observaron que se produjo un descenso de la firmeza en las dos temperaturas evaluadas, siendo más severo en las papas que habían sido conservadas a 15°C. Aquino-Bolaños *et al.* (2000) no detectaron diferencias significativas en la firmeza de los trozos de jícama conservados durante diez días a 0, 5 ó 10°C.

No se observaron diferencias significativas en la firmeza de la yuca una vez cocinada independientemente de la temperatura evaluada. Además, se mantuvo constante durante la conservación con valores medios de $0,84 \pm 0,30$ N/g.

El recuento de microorganismos aerobios mesófilos durante la conservación de yuca procesada a 5 ó 10°C se muestra en la [Figura 102](#). Se produjo un incremento durante los ocho días de conservación a las dos temperaturas evaluadas. Durante los tres primeros días de conservación, la carga fue similar a las dos temperaturas [$0,83 \pm 0,16$ Log (ufc/g)]. Sin embargo, a partir del sexto día y hasta el octavo, la carga de microorganismos mesófilos aerobios fue superior en los trozos de yuca conservados a 10°C, con una carga microbiana al final de la conservación de $5,0 \pm 0,0$ Log (ufc/g), mientras que en los trozos almacenados a 5°C fue de $4,1 \pm 0,1$ Log (ufc/g). Esto corrobora lo descrito por Barry-Ryan *et al.* (2000) que observaron que la carga de microorganismos mesófilos aerobios fue

significativamente superior en las zanahorias conservadas a 8°C que en las conservadas a 3°C.

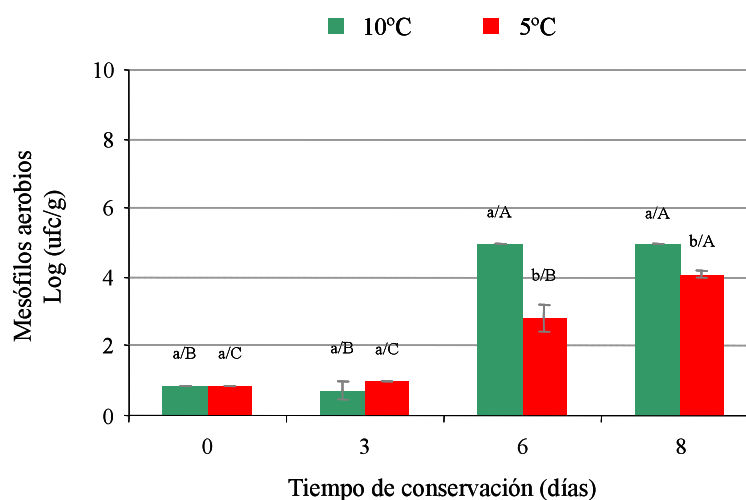


Figura 102. Recuento total de microorganismos aerobios mesófilos en yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas de conservación o entre días de conservación, respectivamente.

En la Figura 103a se muestra el aumento de la carga de microorganismos aerobios psicrófilos en yuca durante los ocho días de conservación a 5 ó 10°C. Durante los seis primeros días la carga fue similar en los trozos conservados a 5 ó 10°C. En cambio, a los ocho días los trozos que habían sido almacenados a 10°C presentaron un recuento mayor [$4,6 \pm 0,0$ Log (ufc/g)] que los conservados a 5°C [$3,6 \pm 0,2$ Log (ufc/g)]. El recuento de hongos y levaduras también aumentó durante la conservación, independientemente de la temperatura evaluada (Figura 103b). En el momento del procesado de la yuca y al tercer día de conservación el recuento fue similar en los trozos conservados a ambas temperaturas, $0,26 \pm 0,30$ y $1,2 \pm 0,4$ Log (ufc/g), respectivamente. En cambio, a partir de este día y hasta el octavo, fue superior en los trozos conservados a 10°C (entre 1,2 y 2,1 unidades logarítmicas). Silva *et al.* (2003) señalaron que la yuca mínimamente procesada envasada con y sin vacío en bolsas de poliolefina multicapa y conservadas a 10°C,

presentó menor recuento de hongos y levaduras, que cuando fue conservada a 25°C; además, la vida útil se prolongó hasta los 12 días de conservación. Sin embargo, la yuca envasada en barquetas de polipropileno selladas con un *film* de policloruro de vinilo y almacenadas a 25°C fueron descartadas desde el tercer día de conservación, debido al incremento de hongos y levaduras en dos unidades logarítmicas respecto al recuento en el momento del corte.

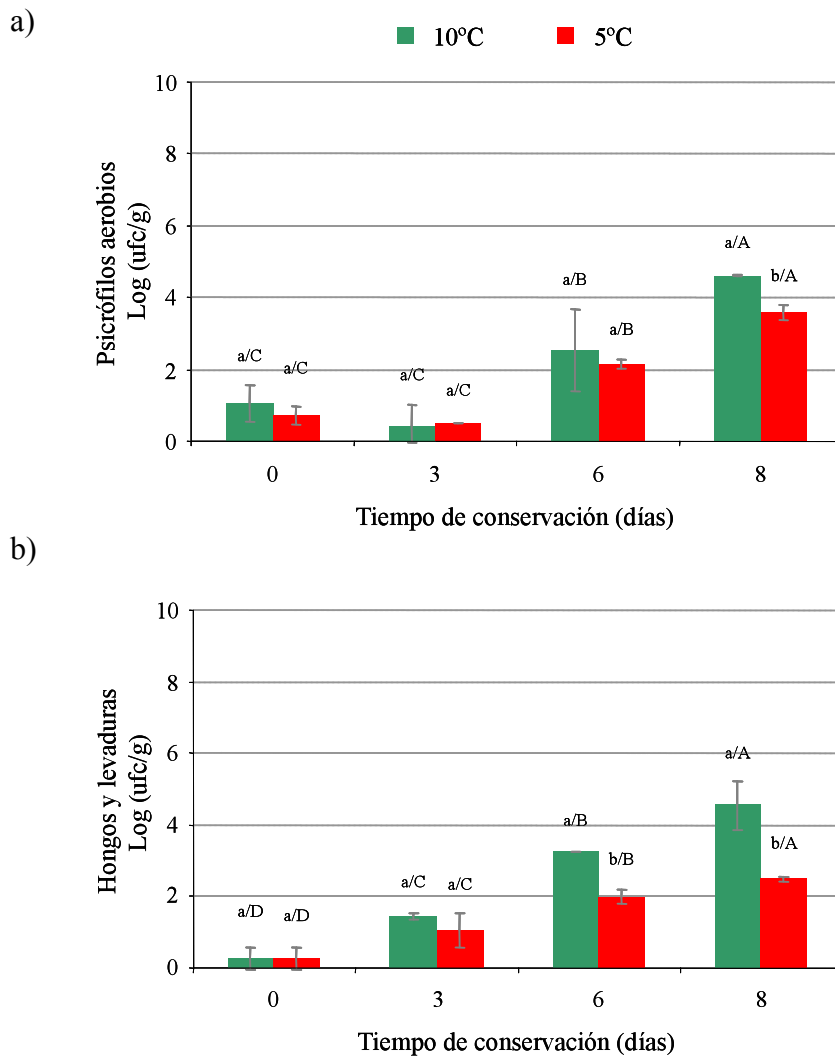


Figura 103. Recuento total de microorganismos aerobios psicrófilos (a) y hongos y levaduras (b) en yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5 ó 10°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas de conservación o entre días de conservación, respectivamente.

Aquino-Bolaños *et al.* (2000) evaluaron tres temperaturas de conservación en jícama procesada e indicaron que, para mantener la calidad de este producto y retardar el crecimiento microbiano, era necesario conservarlo entre 0 y 5°C. Lund *et al.* (2004) evaluaron dos temperaturas de conservación (5 ó 10°C) en yuca mínimamente procesada durante quince días y señalaron que el recuento de bacterias lácticas, así como la acidez de los tubérculos aumentó durante la conservación, independientemente de la temperatura evaluada; sin embargo, dicho incremento fue mucho mayor en los tubérculos que fueron conservados a 10°C. Estos autores concluyeron que, existió una relación directa entre el incremento de la carga de bacterias lácticas durante la conservación y el aumento de la acidez de la yuca mínimamente procesada, probablemente por la presencia de ácido láctico producido por estas bacterias.

En la evaluación sensorial de la yuca cruda los panelistas detectaron diferencias en el aspecto general y el color de los trozos de yuca procesada y conservada a las temperaturas evaluadas. Mientras que en el momento del procesado, los catadores no detectaron diferencias, a partir del tercer día la yuca que había sido conservada a 5°C fue mejor valorada que la almacenada a 10°C (Figura 104a y 104b). La yuca conservada a 5°C fue evaluada por los catadores por encima del límite de aceptación tanto en el momento del procesado como a los tres y seis días de conservación. Sin embargo, los trozos conservados a 10°C sólo fueron puntuados por encima de este límite en el momento del procesado. Lund *et al.* (2005b) evaluaron el aspecto general de trozos de yuca de 5 cm de grosor envasados al vacío en bolsas de polipropileno y conservados a 5, 10 ó 23°C durante 19 días de conservación. Los tubérculos almacenados a 23°C fueron descartados a partir del noveno día de conservación debido al deterioro que presentaron y concluyeron que la mejor temperatura de conservación de los trozos de yuca fue la de 5°C.

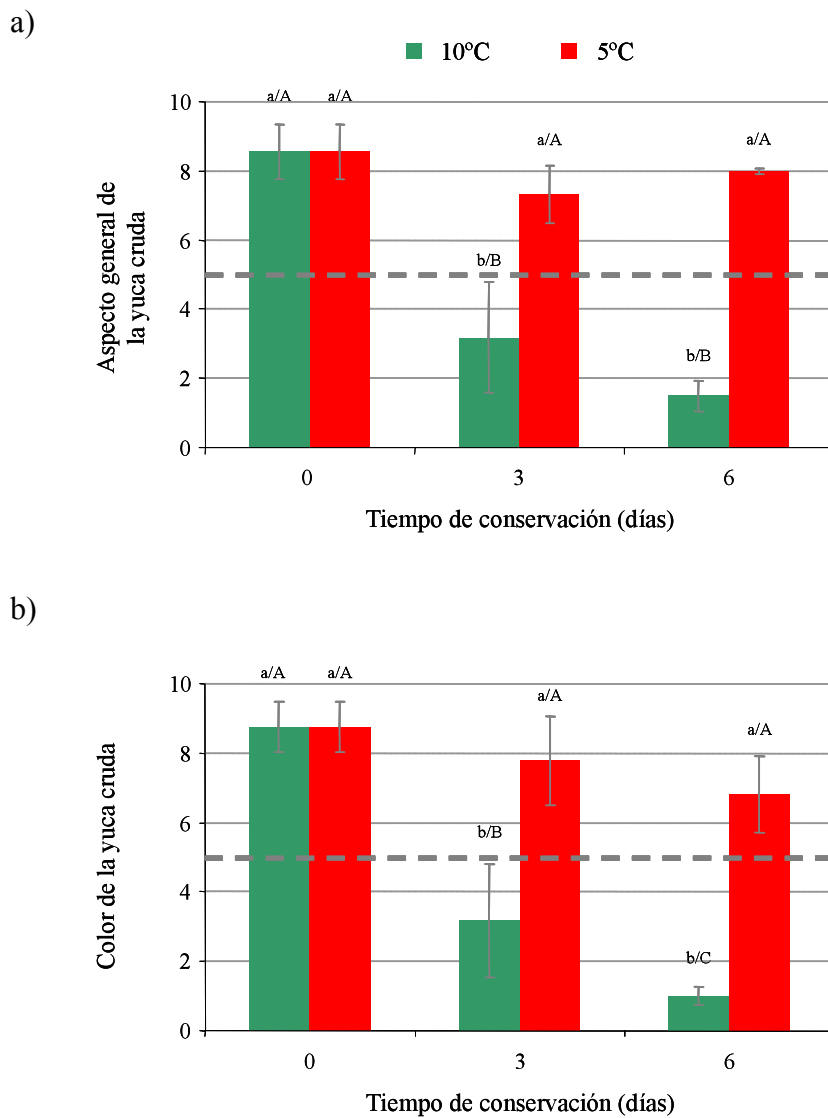


Figura 104. Aspecto general (a) y color (b) de los trozos de yuca cruda conservada durante seis días a 5 ó 10°C.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas de conservación o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Mientras que en el momento del procesado el 100% de los catadores comprarían las barquetas con trozos de yuca almacenadas a las dos temperaturas evaluadas, al tercer y sexto día de conservación ninguno de los componentes del panel de cata se decantó por las barquetas con yuca almacenadas a 10°C y

eligieron las que habían sido conservadas a 5°C. Lund *et al.* (2005b) valoraron el aspecto general, mediante un panel de cata, de trozos de yuca envasados al vacío en bolsas de polipropileno y conservados durante 19 días a 5, 10 ó 23°C y un 86% de los catadores se decantaron por los tubérculos almacenados a 5°C, mientras que sólo un 14% seleccionó la yuca conservada a 10°C. Los tubérculos almacenados a 23°C los descartaron desde del noveno día de conservación.

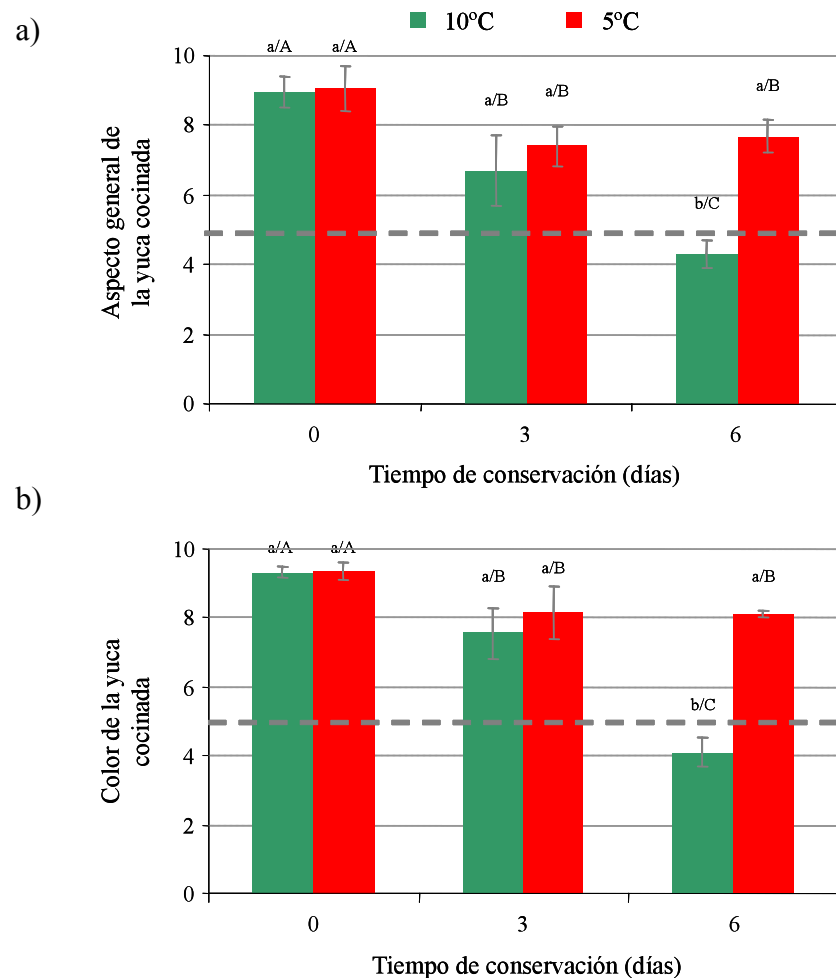


Figura 105. Aspecto general (a) y color (b) de la yuca cocinada conservada durante seis días a 5 ó 10°C.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas de conservación o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

En cuanto al aspecto general y el color del producto una vez cocinado los catadores no detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados durante los tres primeros días de conservación (Figura 105). En cambio, al sexto día los trozos conservados a 5°C presentaron mejor aspecto general y color que los que habían sido almacenados a 10°C, siendo el aspecto general de estos últimos evaluado por debajo del límite de aceptación.

En ningún caso los panelistas detectaron sabores extraños en los trozos de yuca cocinados.

Una vez evaluados los parámetros sensoriales en la yuca cruda y cocinada, el 100% de los catadores seleccionó la temperatura de 5°C como la más adecuada para la conservación de yuca mínimamente procesada (Figura 106).

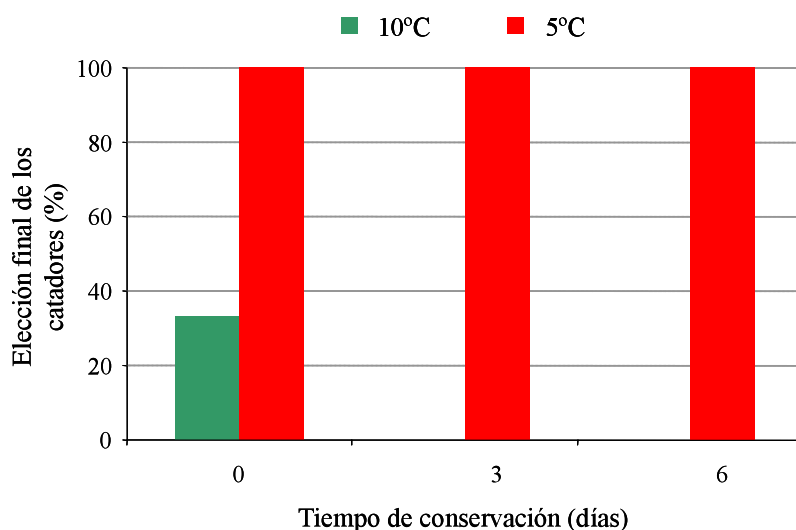


Figura 106. Elección final de los catadores (%) que comprarían yuca mínimamente procesada conservada durante seis días a 5 ó 10°C.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la temperatura de conservación tiene un efecto crucial sobre la calidad sensorial e higiénico-sanitaria de la yuca mínimamente procesada. Teniendo en cuenta que los trozos conservados a 5°C presentaron menores cambios en los parámetros relacionados

con el color, menor severidad del estriado vascular, menor carga microbiana durante la conservación y mayor aceptación por los panelistas, ésta fue la temperatura de conservación seleccionada como óptima para almacenar este tubérculo una vez procesado.

4.9. Vida comercial de la yuca mínimamente procesada

Los resultados de la evaluación del efecto de la temperatura de conservación sobre la calidad de la yuca demuestran que, dicho parámetro es un factor muy importante que afecta directamente a la vida útil del producto. Por lo tanto, es de vital importancia el mantenimiento de la cadena de frío durante toda la cadena de distribución del producto hasta su consumo (Paull y Chen, 1997). Una vez optimizadas las etapas para la obtención de yuca mínimamente procesada, fue necesario conocer el comportamiento de este producto durante la cadena comercial. En las Islas Canarias, la implantación de empresas elaboradoras de productos mínimamente procesados se ve apoyada por la demanda del sector turístico de las islas (restaurantes, catering, hoteles, etc.), por el incremento de la población inmigrante que son consumidores habituales de yuca, así como por el alto valor añadido que alcanzan estos productos en el mercado. Sin embargo, no hay que olvidar que Canarias es un territorio fragmentado que se encuentra a más de 2.000 km del continente Europeo, por lo que la cadena comercial (transporte y distribución) es compleja. Con este objetivo, en el laboratorio, se simuló la cadena comercial de este producto con el objetivo de evaluar si, bajo las condiciones típicas de la producción y distribución de estos productos, la comercialización de la yuca mínimamente procesada era segura. Para ello, una vez procesada la yuca una parte se mantuvo a temperatura constante (5°C, la óptima para la conservación de la yuca) y otra parte siguió la cadena comercial (para más detalles ver apartado 3.2.8).

El estriado vascular en los trozos de yuca conservados a 5°C se manifestó dos días después del procesado, presentando el 10% de las barquetas y el 4% de los trozos de yuca este deterioro; sin embargo, en las barquetas en las que se simuló la cadena comercial, se manifestó al día siguiente del procesado (5% de las barquetas y 2% de los trozos con vascularización) (Figura 107a y 107b).

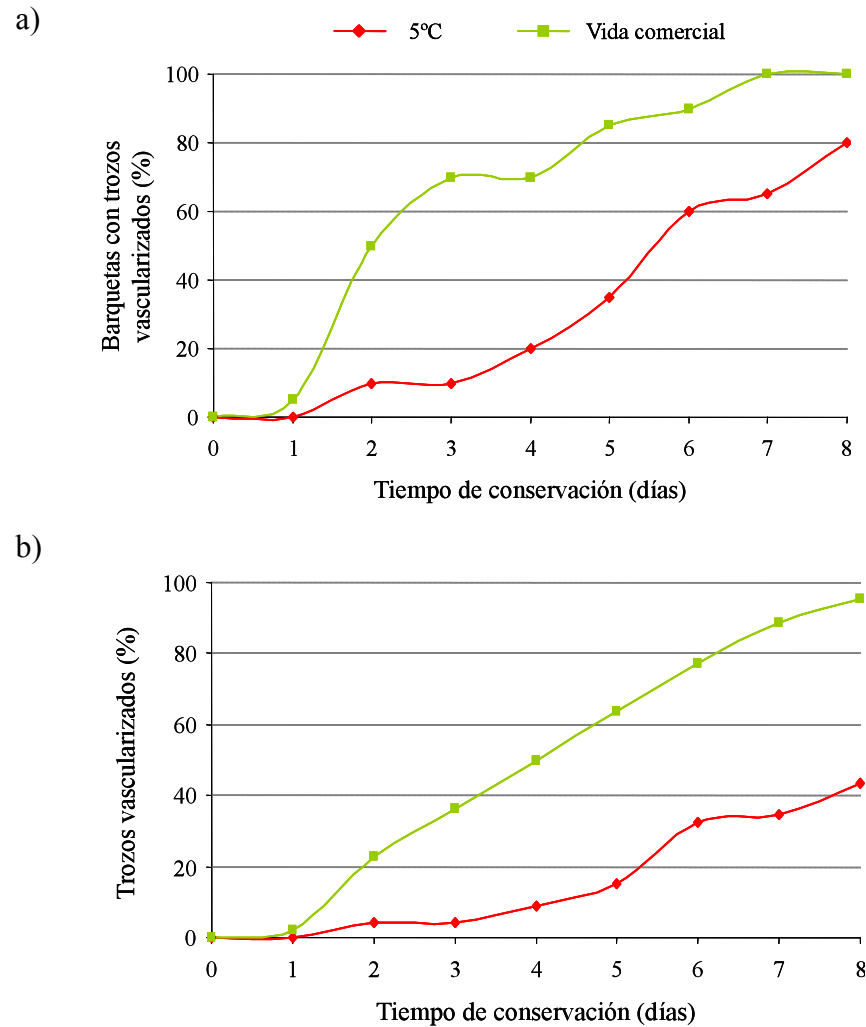


Figura 107. Efecto del tipo de conservación (temperatura óptima constante o simulación de la cadena comercial) sobre el estriado vascular de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días: barquetas con trozos vascularizados (a) y trozos vascularizados (b).

Durante la conservación se observó un incremento del número de barquetas y de trozos de yuca vascularizados independientemente del tipo de conservación, aunque con diferencias entre ellos en la incidencia y severidad del deterioro. A los siete días, el 100% de las barquetas y el 89% de los trozos de la simulación de la vida comercial presentaron estriado vascular; sin embargo, ese mismo día sólo el 65% de las barquetas y el 35% de los trozos conservados a 5°C presentaron dicho deterioro. La severidad de la vascularización también aumentó durante la

conservación, independientemente del tipo de conservación de la yuca procesada (Figura 108). A los ocho días de conservación la severidad fue mayor en los trozos de yuca que siguieron la cadena comercial ($57 \pm 28\%$), en cambio la severidad en los conservados a 5°C fue del $18 \pm 20\%$. Lund *et al.* (2007) evaluaron la calidad microbiológica de tres lotes de yuca mínimamente procesada disponible para el consumo en supermercados en la región de Pelotas, Brasil. Dos de los lotes evaluados presentaron en general una buena apariencia, aunque detectaron estrías vasculares leves en algunos de los trozos. En cambio, en otro de los lotes evaluados observaron que el 100% de los trozos presentó vascularización.

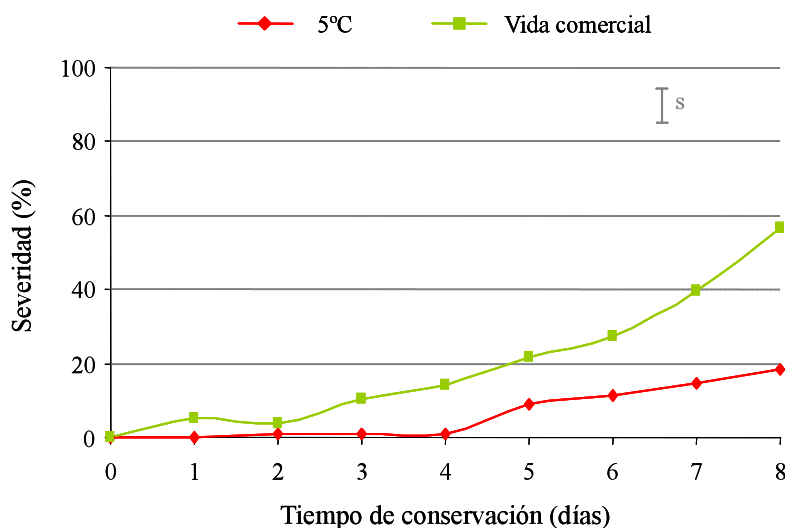


Figura 108. Efecto del tipo de conservación (temperatura óptima constante o simulación de la cadena comercial) sobre la severidad del estriado vascular de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días.

La tasa respiratoria de la yuca mínimamente procesada conservada a 5°C y la del tubérculo conservado según la cadena comercial aumentó durante el periodo de conservación. El primer día después del corte la tasa respiratoria fue superior en la yuca conservada a 5°C , aunque a partir de ese día fue similar en ambos tipos de conservación (Figura 109).

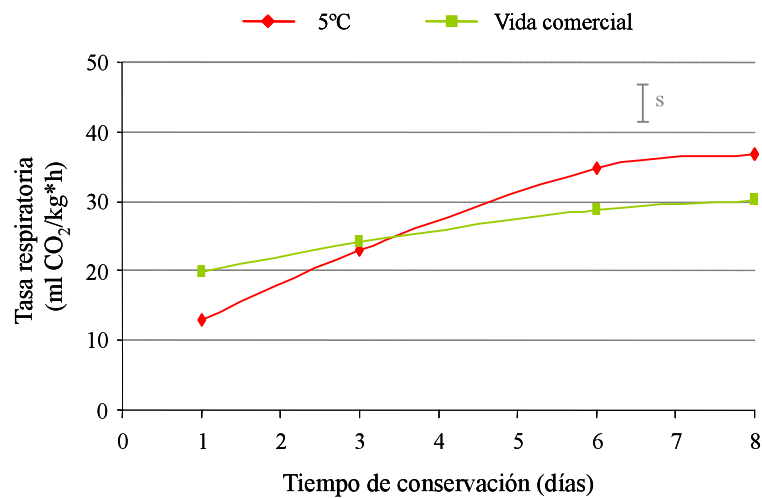


Figura 109. Evolución de la tasa respiratoria (ml CO₂/kg*h) de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C o simulando la cadena comercial.

La composición de oxígeno en el interior de las barquetas de la yuca procesada conservada a 5°C no se vio modificada durante los ocho días de conservación; en cambio, en el tubérculo procesado que siguió la cadena comercial se produjo un ligero incremento de la composición desde $11 \pm 0\%$ en el momento del procesado hasta $14 \pm 2\%$ (Figura 110a). En ambos productos la composición de dióxido de carbono fue similar durante la conservación (Figura 110b). No se observaron diferencias significativas en la composición de dióxido de carbono, aunque se produjo un incremento de la composición, independientemente del producto evaluado. Dicho aumento fue desde el 0%, en el momento del procesado hasta $1,3 \pm 0,5\%$, a los ocho días de conservación.

La pérdida de peso del tubérculo mínimamente procesado fue semejante e independiente de si siguió la cadena comercial o si se mantuvo en condiciones óptimas de almacenamiento (5°C) durante ocho días. En ambos productos la pérdida de peso fue mínima y no superó el 0,10%.

Durante el periodo de conservación no se observó deshidratación superficial en la yuca conservada a 5°C o en la que siguió la cadena comercial.

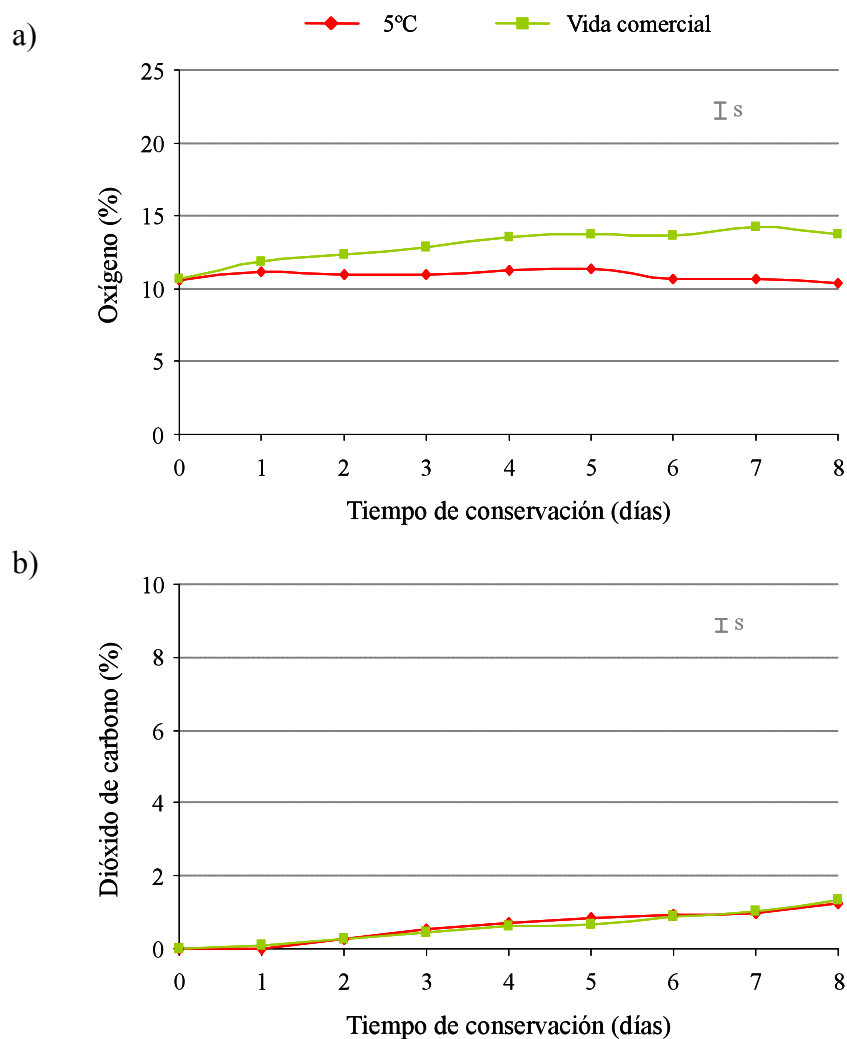


Figura 110. Composición en: oxígeno (a) y dióxido de carbono (b) acumulado en el interior de las barquetas de yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C o simulando la cadena comercial.

La luminosidad y el índice de blanqueamiento de los trozos de yuca disminuyeron durante la conservación en la yuca conservada a 5°C y en la que se simuló la cadena comercial. Un día después del corte de las raíces y a los ocho días de conservación dichos parámetros fueron similares para ambos tratamientos; sin embargo el tercer día, la luminosidad y el índice de blanqueamiento fueron superiores en la yuca en la que se simuló la cadena comercial (Figura 111a y 111b).

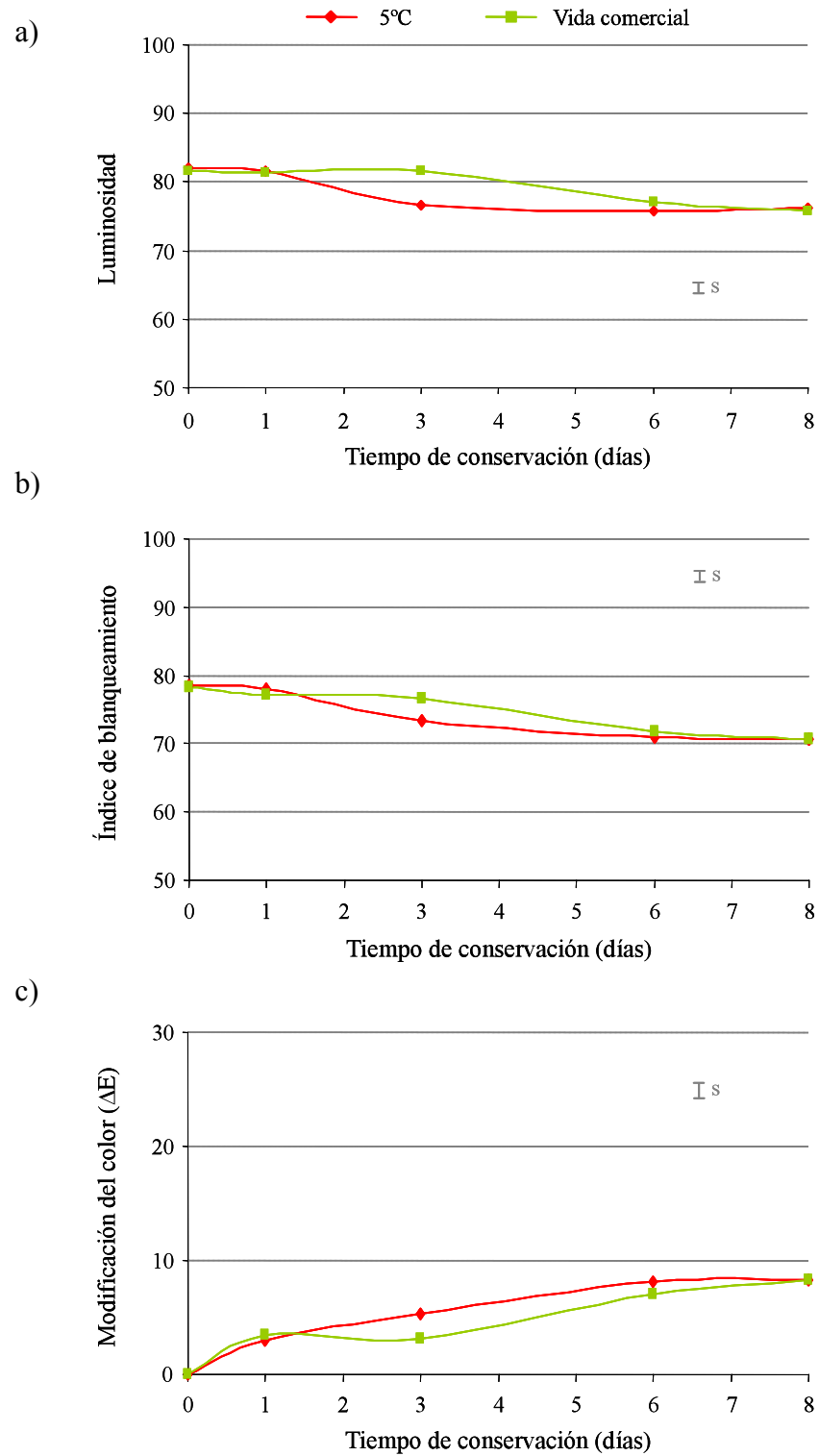


Figura 111. Luminosidad (a), índice de blanqueamiento (b) y modificación del color (ΔE) (c) de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C o simulando la cadena comercial.

La modificación del color durante el periodo de conservación se muestra en la **Figura 111c**. En ambos productos se modificó el color de forma continua y similar, siendo la modificación del color al final de la conservación en la yuca conservada a 5°C y en la que se simuló la cadena comercial de 8 ± 2 .

La luminosidad y la modificación del color en los trozos de yuca cocinada fueron semejantes e independientes de si se siguió la cadena comercial o si se mantuvo en condiciones óptimas de almacenamiento (5°C) durante ocho días. Sin embargo, en los tubérculos conservados a 5°C la luminosidad disminuyó ligeramente desde el momento del corte hasta el final de la conservación (desde 63 ± 5 hasta 59 ± 8 , respectivamente) y en los que se simuló la cadena comercial se mantuvo constante durante todo el periodo de conservación. El color se modificó en ambas condiciones de comercialización durante la conservación de forma similar.

La actividad de la enzima peroxidasa se mantuvo constante durante el periodo de conservación de la yuca mínimamente procesada conservada a 5°C ($69 \pm 7 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca), mientras que en la yuca procesada en la que se simuló la cadena comercial se produjo un ligero incremento de la actividad desde el momento en el que fue procesado el tubérculo ($67 \pm 7 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca) hasta el último día de conservación ($74 \pm 6 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca). En ambos productos tanto la actividad inicial como la final fueron semejantes. La severidad de la vascularización y la modificación del color en la yuca en la que se simuló la cadena comercial fueron mayores que en los tubérculos conservados a 5°C. Dichos parámetros están directamente relacionados con la actividad de la enzima peroxidasa que, en el caso de la yuca que siguió la línea comercial, se tradujo en que a medida que aumentó el estriado vascular y la modificación del color se produjo un incremento de la actividad de esta enzima en dichos tubérculos. La actividad de la enzima polifenoloxidasa disminuyó en los trozos de yuca conservados a 5°C, siendo la actividad de la yuca recién procesada de $6,1 \pm 0,9$

$\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca y de $4,4 \pm 1,8 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca el último día de conservación. En los troncos de yuca en los que se simuló la cadena comercial la actividad fue similar en el inicio de la conservación ($5,9 \pm 1,1 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca) y a los ocho días de conservación ($4,3 \pm 0,6 \Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca).

Durante el periodo de conservación no se detectó la aparición de manchas amarillas en la yuca procesada mínimamente conservada a 5°C ni en la que se simuló la cadena comercial.

La firmeza de los trozos de yuca fue similar durante la conservación en ambos productos y además, durante todo el periodo de conservación, la firmeza de se mantuvo constante ($5,0 \pm 1,3 \text{ N/g}$).

En la firmeza de la yuca cocinada no hubo diferencias estadísticamente significativas ($1,8 \pm 0,6 \text{ N/g}$), ni entre las condiciones de comercialización, ni durante el periodo de conservación.

Durante los seis primeros días de conservación, el recuento de microorganismos aerobios mesófilos en la yuca procesada conservada a 5°C y en la que se simuló la cadena comercial fue similar (Figura 112); sin embargo, al octavo día la carga fue superior en las raíces mínimamente procesadas en las que se simuló la cadena comercial (1,3 unidades logarítmicas). En ambos casos, se produjo un aumento de la carga desde el momento del procesado hasta el último día de conservación. Sin embargo, para ambas condiciones de comercialización, los niveles de microorganismos aerobios mesófilos cumplieron con la normativa española en “comidas preparadas envasadas a base de vegetales crudos” (Real Decreto 3484/2000) durante todo el periodo de conservación.

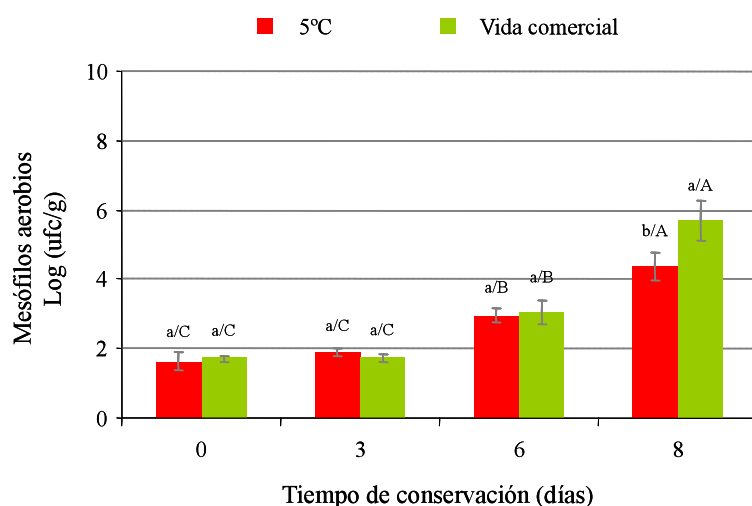


Figura 112. Recuento total de microorganismos aerobios mesófilos de la yuca mínimamente procesada conservada a 5°C o simulando la cadena comercial. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre condiciones de conservación o entre días de conservación o, respectivamente.

El recuento de microorganismos aerobios psicrófilos también aumentó durante la conservación, independientemente de si el tubérculo procesado fue conservado a 5°C durante ocho días o había seguido la cadena comercial (Figura 113a). A partir del tercer día, la carga fue significativamente inferior en la yuca conservada a 5°C (1 unidad logarítmica); en cambio recién procesada la yuca conservada a 5°C presentó una carga ligeramente mayor. La carga de hongos y levaduras también aumentó durante la conservación en ambos productos (desde 0 Log (ufc/g) recién procesada la yuca, hasta $3,2 \pm 0,7$ Log (ufc/g) el último día) (Figura 113b). Así, la carga en la yuca recién procesada o al octavo día de conservación fue similar, en cambio al tercer y sexto día fue superior en los trozos de yuca en los que se simuló la cadena comercial. Lund *et al.* (2007) evaluaron la calidad microbiológica de yuca mínimamente procesada disponible para el consumo en supermercados en la región de Pelotas, Brasil. En todos los lotes evaluados detectaron una alta carga de microorganismos aerobios mesófilos [$8,0 \pm 0,8$ Log (ufc/g)], aerobios psicrófilos [$8,2 \pm 0,6$ Log (ufc/g)] y hongos y levaduras

[$3,5 \pm 0,7$ Log (ufc/g)]. La elevada carga de microorganismos aerobios psicrófilos indicó que el producto pudo tener problemas de conservación a una temperatura de refrigeración no adecuada o una calidad higiénico-sanitaria no adecuada durante la producción de la yuca mínimamente procesada.

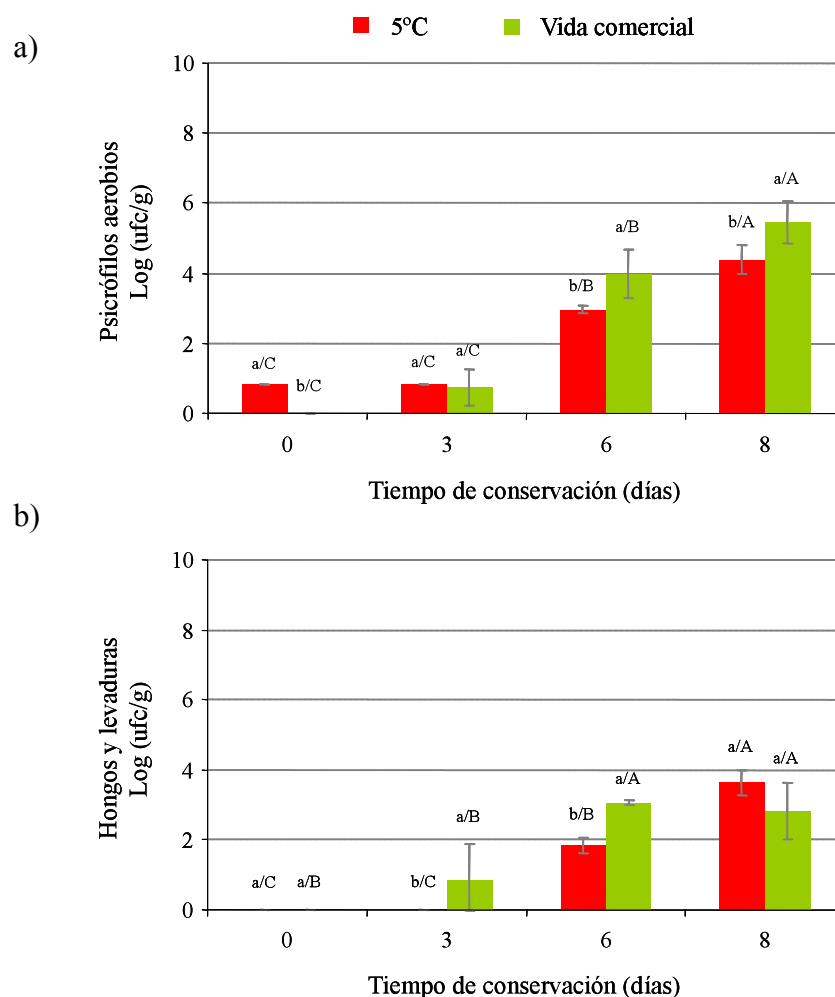


Figura 113. Recuento total de microorganismos aerobios psicrófilos (a) y hongos y levaduras (b) de la yuca mínimamente procesada conservada a 5°C o simulando la cadena comercial.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre condiciones de conservación o entre días de conservación o, respectivamente.

En la evaluación sensorial de la yuca cruda los catadores detectaron una disminución de la calidad del aspecto general y del color (Figuras 114a y 114b). Durante los tres primeros días de conservación la valoración del aspecto general

de los trozos de yuca fue similar para las dos condiciones de comercialización; sin embargo, a partir de este día fueron mejor valorados los conservados a 5°C.

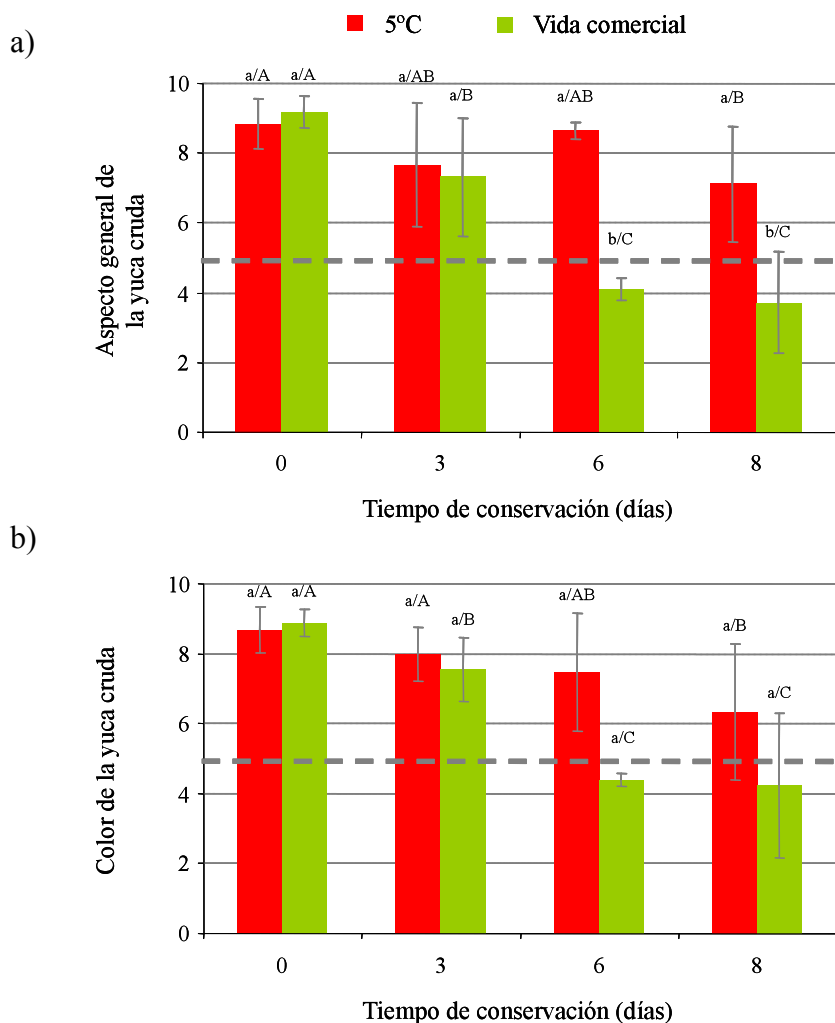


Figura 114. Aspecto general (a) y color (b) de los trozos de yuca cruda conservada a 5°C o simulando la cadena comercial.

Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre condiciones de conservación o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Además, los catadores no observaron un empeoramiento en el aspecto general de dichos tubérculos durante los ocho días de conservación. En cuanto al color de los trozos de yuca, los catadores no observaron diferencias entre ambas condiciones de conservación desde el momento del corte hasta el final de la vida

útil, aunque apreciaron una disminución en este parámetro independientemente de si el tubérculo se conservó a 5°C o si en él se simuló la cadena comercial. Aún así, el color de la yuca conservada a temperatura constante de 5°C fue siempre valorado como aceptable, mientras que el de la que simuló la cadena comercial fue considerado por debajo del límite de aceptabilidad a partir del sexto día después del procesado.

Recién procesada la yuca el 100% de los panelistas comprarían los tubérculos sometidos a ambas condiciones de comercialización (Figura 115); sin embargo, a los tres días sólo un 50% de los catadores comprarían la yuca mínimamente procesada a la que se simuló la cadena comercial y un 67% la conservada a 5°C. A partir de este día el 100% de los componentes del panel de cata comprarían los trozos de yuca conservados a 5°C, mientras que ninguno o el 14% (sexto y octavo día de conservación, respectivamente) comprarían la yuca que siguió la cadena comercial.

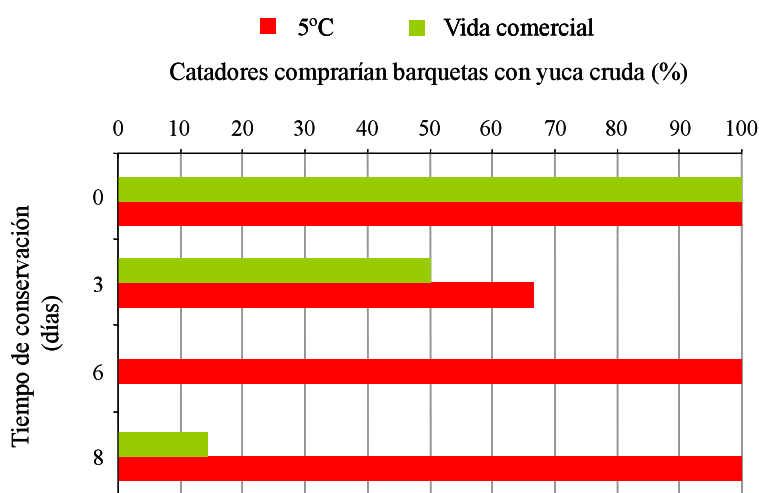


Figura 115. Catadores (%) que comprarían yuca cruda conservada a 5°C o simulando la cadena comercial.

En el análisis sensorial del producto cocinado, los catadores valoraron el aspecto general y el color durante el periodo de conservación y no observaron diferencias entre los trozos de tubérculos conservados a temperatura óptima y

constante o siguiendo la cadena comercial (Figura 116a y 116b). El producto en el que se simuló la cadena comercial fue valorado más negativamente durante la conservación; en cambio, en el conservado a 5°C, la valoración fue constante desde el mismo día en el que fue procesado hasta el último día de conservación. No se detectaron sabores extraños en la yuca cocinada durante el periodo de conservación independientemente de las condiciones de conservación evaluadas.

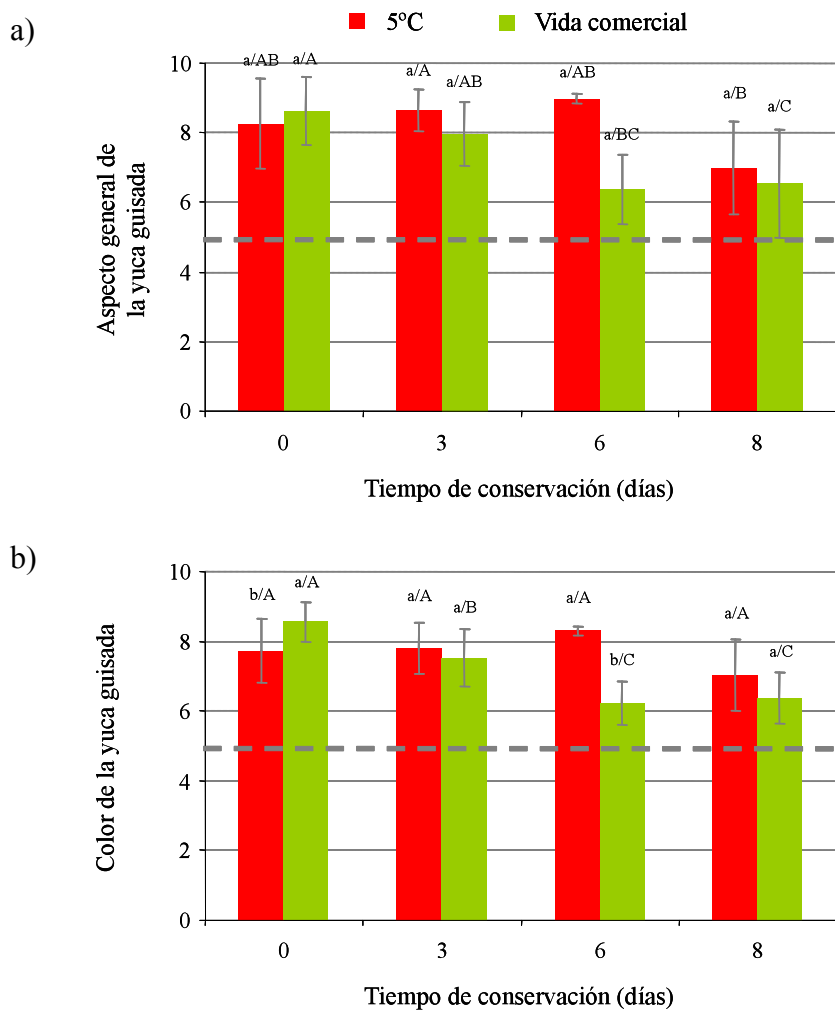


Figura 116. Aspecto general (a) y color (b) de los trozos de yuca guisada conservada a 5°C o simulando la cadena comercial. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre condiciones de conservación o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Una vez evaluados los parámetros sensoriales tanto en los trozos crudos como en los guisados, el panel de catadores seleccionó aquel tratamiento que le parecía más atractivo y con mayor calidad sensorial. Como se observa en la [Figura 117](#), a lo largo de todo el periodo de conservación los catadores eligieron los trozos de yuca que habían sido conservados a la temperatura óptima de 5°C.

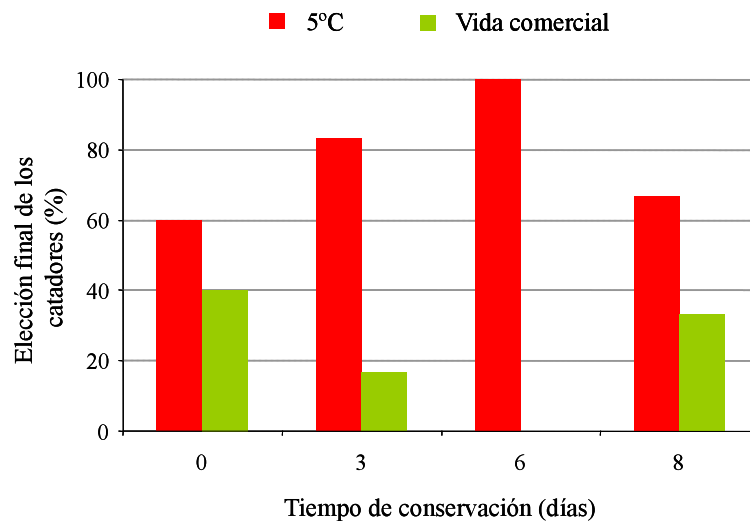


Figura 117. Elección final de los catadores (%) de yuca mínimamente procesada conservada a 5°C o simulando la cadena comercial.

Por tanto, se puede concluir que las condiciones de conservación de la yuca una vez procesada influyen en la calidad del producto. Así, los trozos conservados a temperatura constante de 5°C presentaron menor estriado vascular y menor carga de microorganismos aerobios mesófilos y psicrófilos que en los que se simuló la cadena comercial. Además el panel de catadores seleccionó la yuca conservada a 5°C como la que tenía mejor calidad sensorial.

4.10. Producto entero y cortado

Un producto mínimamente procesado ha de mantener, durante toda su vida comercial, una calidad sensorial, higiénico-sanitaria y nutricional similar a la del producto fresco entero. Una vez optimizadas las distintas etapas del proceso de elaboración de la yuca mínimamente procesada se comparó la calidad y la vida comercial de los tubérculos cortados (conservados a 5°C) con la de los tubérculos enteros conservados a la temperatura óptima (10°C). En la elaboración de los productos mínimamente procesados se incluyen operaciones como el pelado y troceado que provocan alteraciones fisiológicas en este tipo de productos. Por lo tanto, normalmente, estos productos son más perecederos que sus respectivos enteros.

En una primera fase se determinó si el pelado y corte de la yuca afectaba fisiológicamente al tubérculo. Para ello se midió la tasa respiratoria y la producción de etileno inicial de la yuca entera y de la yuca una vez que había sido procesada. El pelado y el corte del tubérculo produjeron un ligero aumento de la tasa respiratoria que rápidamente disminuyó a partir de la primera hora después del corte para posteriormente mantenerse constante. Tanto en el producto entero como en el recién procesado no se detectó producción de etileno en el momento del corte. Del Águila *et al.* (2007) indicaron que, durante las cuatro horas después del corte, se produjo un aumento de la tasa respiratoria en las tiras de rábano y en el respectivo producto entero, ambos conservados a 5°C, aunque dicho aumento fue superior en el rábano mínimamente procesado (94 ml CO₂/kg*h) que en el entero (41 ml CO₂/kg*h). Vitti *et al.* (2004b) observaron que las beterradas ralladas presentaron una tasa respiratoria mucho menor que las beterradas enteras (30 y 5 ml CO₂/kg*h, respectivamente) durante las cuatro horas después del corte. Del Águila *et al.* (2006) observaron una producción de etileno muy baja durante las doce horas después del procesado del rábano, así como en el producto entero.

Además, se midió la tasa respiratoria y la producción de etileno durante los ocho días de conservación (Figura 118). La tasa respiratoria de la yuca entera se mantuvo constante durante el periodo de conservación ($8,1 \pm 2,6$ ml CO₂/kg*h); en cambio, en la yuca mínimamente procesada y conservada a 5°C se produjo un incremento de la tasa respiratoria (desde el primer día, 13 ± 2 ml CO₂/kg*h hasta el último día de conservación 37 ± 8 ml CO₂/kg*h). Durante los tres primeros días de conservación la tasa respiratoria fue similar en el tubérculo entero y en el procesado y a partir de este día fue muy superior en el producto procesado, siendo cinco veces más alta al final de la conservación. La producción de etileno durante la conservación fue muy baja, por debajo de 2 µl de etileno, tanto en la yuca entera como en el tubérculo procesado y además, se mantuvo constante durante los ocho días de conservación.

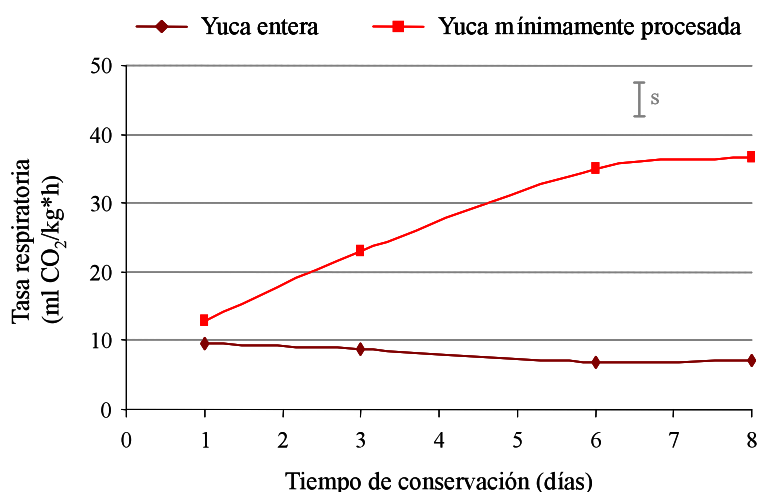


Figura 118. Evolución de la tasa respiratoria (ml CO₂/kg*h) de la yuca entera conservada a 10°C y de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C.

Watada *et al.* (1996) indicaron que, independientemente de la temperatura de conservación (0 ó 10°C), la zanahoria entera respiró aproximadamente la mitad que el tubérculo mínimamente procesado cortado en rodajas durante diez días de conservación. Rocha *et al.* (2005) e Iqbal *et al.* (2008) también observaron que la

zanahoria mínimamente procesada presentó una tasa respiratoria superior al respectivo tubérculo entero durante el periodo de conservación. Spagnol *et al.* (2006) también señalaron que, durante doce días de conservación, la zanahoria mínimamente procesada cortada en rodajas de la variedad “Brasilia” respiró el doble que el respectivo tubérculo fresco entero, a las tres temperaturas de conservación evaluadas (1, 5 ó 11°C). Además, no detectaron producción de etileno durante la conservación ni en la zanahoria entera y ni en las rodajas para ninguna de las temperaturas de conservación. Del Águila *et al.* (2007) compararon la tasa respiratoria de rábanos enteros y cortados en tiras de la variedad “Crimson gigante” conservados durante diez días a 5°C. Los rábanos enteros presentaron menor tasa respiratoria que el rábano mínimamente procesado, siendo la tasa respiratoria el último día de conservación en ambos productos de 28 y 70 ml CO₂/kg*h, respectivamente. Aquino-Bolaños *et al.* (2000) compararon la tasa respiratoria de jícama entera y mínimamente procesada a tres temperaturas de conservación durante ocho días. Observaron que, independientemente de la temperatura en la que fueron almacenados ambos productos, la tasa respiratoria de la jícama entera se mantuvo constante durante el periodo de conservación; en cambio, en el tubérculo procesado y conservado a 5 ó 10°C, la tasa respiratoria al día siguiente del procesado fue similar al tubérculo entero, pero después de cuatro y dos días, respectivamente, aumentó. Cuando la jícama fue conservada a 0°C la tasa respiratoria de ambos productos fue similar, con una tendencia a disminuir en el tiempo.

El estriado vascular de la yuca mínimamente procesada no se manifestó hasta dos días después del procesado de ésta, momento en el cual el 10% de las barquetas contenían trozos de yuca con este deterioro. Durante la conservación se observó un incremento del número de barquetas con trozos de yuca vascularizados, llegando a manifestar dicho deterioro a los ocho días de conservación el 80% de las barquetas. Asimismo, el número de trozos

vascularizados y la severidad también aumentaron durante la conservación, llegando hasta el 43% y el 16%, respectivamente, el octavo día de conservación. De igual manera se determinó el desarrollo del deterioro fisiológico postcosecha en la yuca entera; ésta se peló y se observó que inicialmente ninguno de los tubérculos presentó estriado vascular. Sin embargo, a los seis y ocho días el 100% las yucas enteras que habían sido conservadas a 10°C presentaron estriado vascular con una severidad en ambos días de aproximadamente el 20%.

La pérdida de peso fue similar en la yuca entera y en la procesada mínimamente. Desde el inicio de la conservación hasta el último día se produjo una pérdida de peso muy baja en ambos productos, siendo al octavo día del $0,057 \pm 0,021\%$. Del Águila *et al.* (2006) también observaron que la pérdida de peso fue similar en el rábano entero y en el mínimamente procesado, conservados a distintas temperaturas durante diez días.

La evolución de la luminosidad y del índice de blanqueamiento de la yuca entera conservada a 10°C y de la yuca mínimamente procesada conservada a 5°C durante ocho días se muestra en las Figuras 119a y 119b. Inicialmente la luminosidad de la yuca entera fue ligeramente menor, 77 ± 1 , que la del tubérculo mínimamente procesado que fue 82 ± 1 , aunque desde el tercer hasta el último día de conservación no hubo diferencias entre ellas. En el producto procesado la luminosidad disminuyó a partir del primer día de conservación, siendo a los ocho días de conservación 76 ± 1 ; sin embargo, en el producto entero la luminosidad al final de la conservación fue similar a la inicial. El índice de blanqueamiento en ambos productos disminuyó durante la conservación. En la yuca entera y en la mínimamente procesada, dicha disminución se produjo a partir del segundo día, siendo el valor del índice de blanqueamiento durante esos dos días de 75 ± 2 y 78 ± 2 , respectivamente, mientras que a los ocho días de conservación fue similar en ambos productos 71 ± 1 .

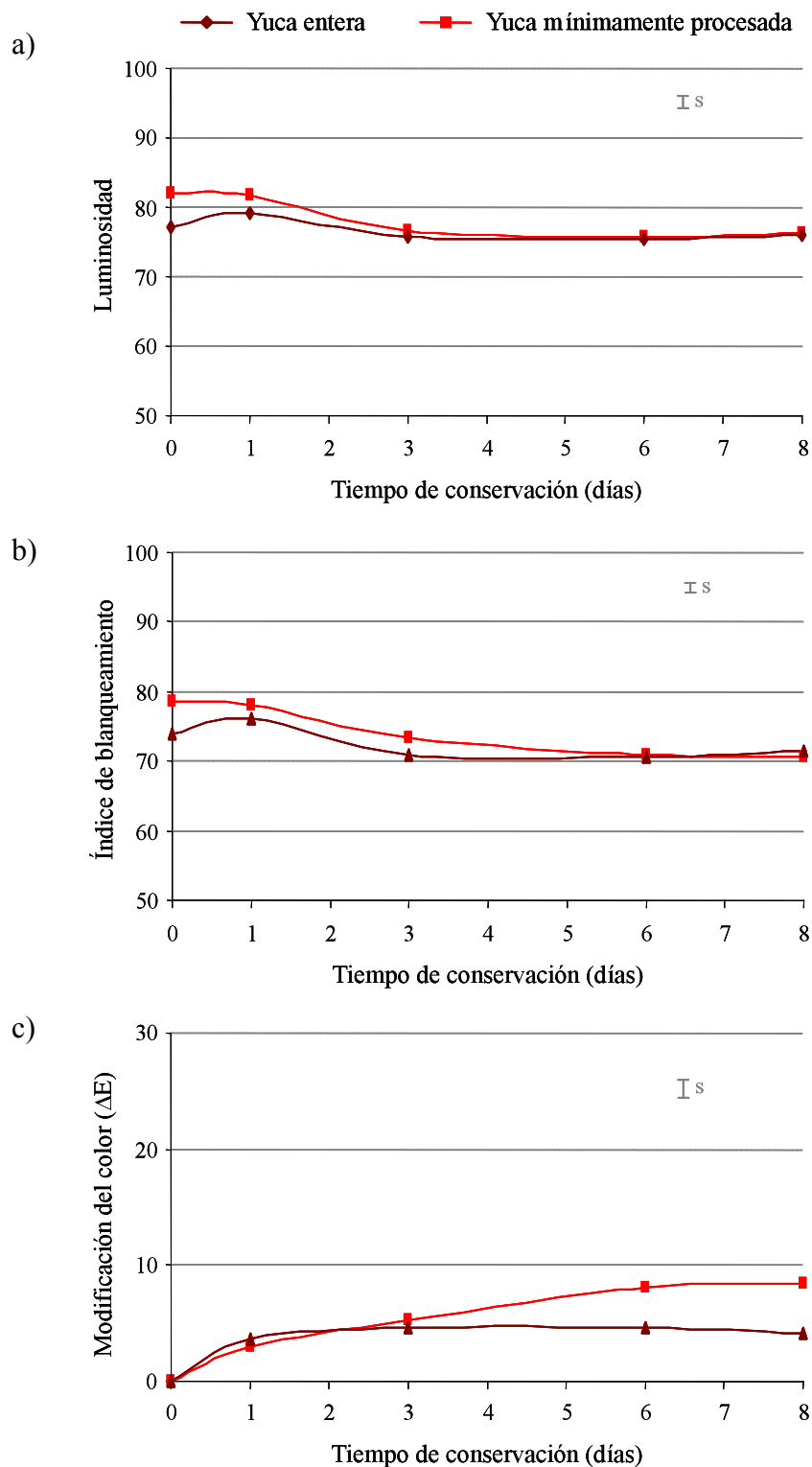


Figura 119. Luminosidad (a), índice de blanqueamiento (b) y modificación del color (ΔE) (c) de la yuca entera conservada a 10°C y de la yuca mínimamente procesada conservada a 5°C durante ocho días.

En la **Figura 119c** se muestra la modificación del color (ΔE), durante el periodo de conservación, de la yuca entera y de la yuca mínimamente procesada. Durante los tres primeros días, no hubo diferencias en el cambio de color sufrido por el producto entero y el procesado; en cambio, a partir de ese día dicha modificación fue mayor en el producto procesado. El último día de conservación el cambio de color producido en el producto entero fue de $4,0 \pm 1,0$ y en el procesado de $8,0 \pm 1,0$. Del Águila *et al.* (2006) compararon la luminosidad en tiras y rodajas de rábano y en rábano entero durante diez días de conservación a 1, 5 ó 10°C y no observaron diferencias entre el producto entero y las rodajas. Sin embargo, en las tiras, independientemente de la temperatura a la que fueron almacenadas, se produjo una disminución de la luminosidad durante la conservación y, además, dicho parámetro fue inferior al de las rodajas y el entero.

La luminosidad de los trozos de yuca entera y de yuca mínimamente procesada, una vez cocinados se mantuvo constante durante el periodo de conservación siendo similar para ambos productos (63 ± 5). En ambos productos cocinados se produjo un cambio de color desde el primer hasta el último día de conservación, siendo dicha modificación similar en la yuca entera y en el tubérculo mínimamente procesado. El último día de conservación el cambio de color producido en ambos productos fue de $5,5 \pm 2,8$.

La actividad de la enzima peroxidasa en la yuca entera aumentó durante los primeros seis días de conservación desde $63 \pm 7 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca hasta $88 \pm 8 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca. Sin embargo, al octavo día descendió hasta alcanzar valores semejantes a los obtenidos en el inicio de la conservación. Mientras, en la yuca mínimamente procesada, la actividad se mantuvo constante durante los ocho días de conservación. Al inicio de la conservación, la mayor actividad la presentó el tubérculo procesado, $70 \pm 7 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca, frente a $61 \pm 1 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca en la yuca entera. En el caso de la enzima polifenoloxidasas, en ambos productos se produjo una ligera disminución de la actividad durante la conservación.

Durante los seis primeros días de almacenamiento, la actividad de la enzima polifenoloxidasas fue superior en el tubérculo entero, mientras que al octavo día se igualaron ambas actividades (Figuras 120a y 120b).

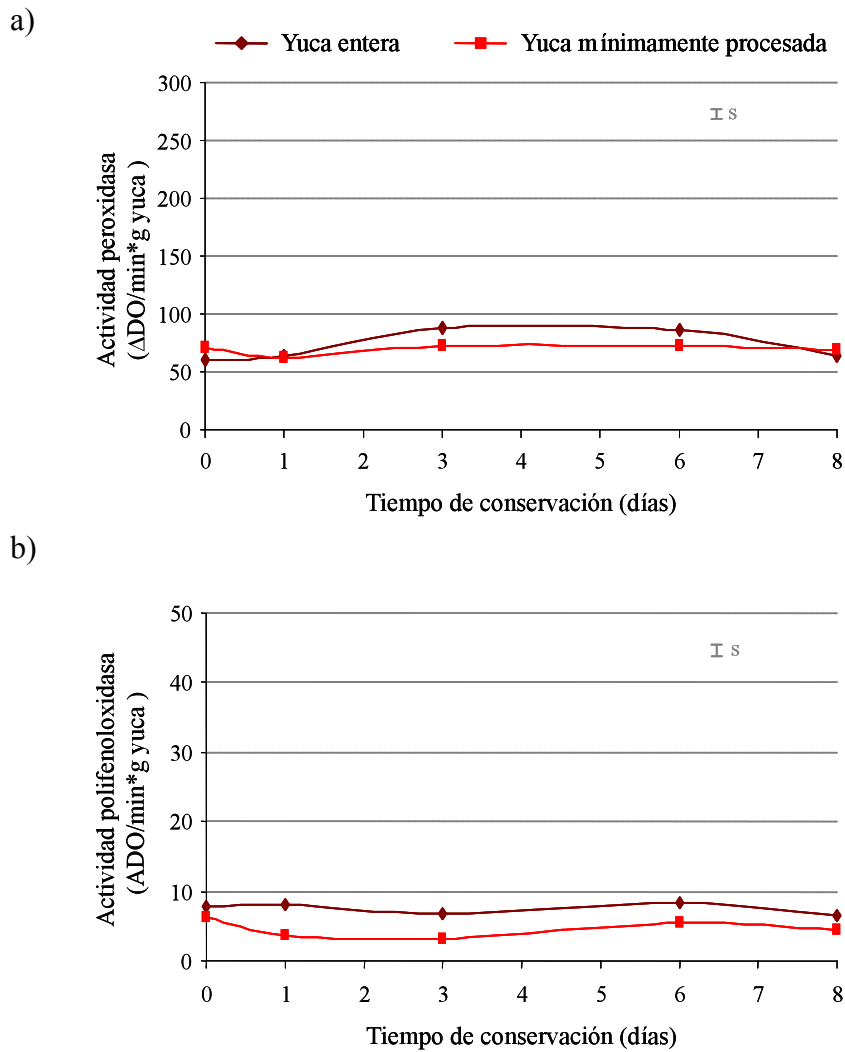


Figura 120. Actividad de la enzima peroxidasa (a) y polifenoloxidasas (b) de la yuca entera conservada a 10°C y de la yuca mínimamente procesada conservada a 5°C durante ocho días.

Durante el periodo de conservación no se detectaron manchas amarillas en la yuca entera ni en la yuca mínimamente procesada.

La firmeza fue similar en la yuca entera y en la yuca mínimamente procesada. Además, en ambos productos la firmeza se mantuvo constante desde el inicio de la conservación hasta los ocho días ($5,2 \pm 1,6$ N/g). En cuanto al tubérculo cocinado, la firmeza fue similar en ambos productos y se mantuvo constante durante todo el periodo de conservación ($1,9 \pm 0,6$ N/g)

La carga de microorganismos aerobios mesófilos fue superior en la yuca entera que en la procesada durante los seis primeros días de conservación (Figura 121). En cambio, el último día de conservación, la carga microbiológica del producto cortado fue casi una unidad logarítmica mayor que la del tubérculo entero. Esto es debido a que, durante el periodo de conservación, la carga de mesófilos aerobios aumentó en la yuca mínimamente procesada desde $1,8 \pm 0,1$ Log (ufc/g) en el momento del procesado, hasta $3,7 \pm 0,3$ Log (ufc/g) a los ocho días de conservación; sin embargo, en el producto entero la carga inicial y final fue similar, $2,8 \pm 0,3$ Log (ufc/g). En ambos productos, los niveles de microorganismos aerobios mesófilos cumplieron con la normativa española en “comidas preparadas envasadas a base de vegetales crudos” (Real Decreto 3484/2000).

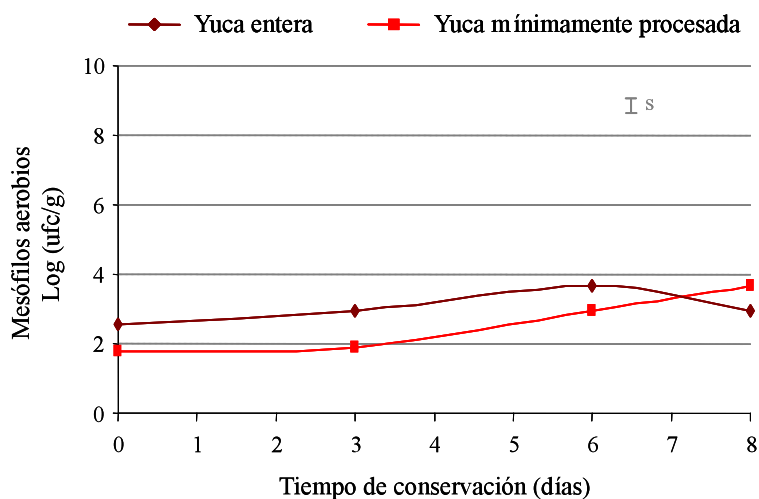
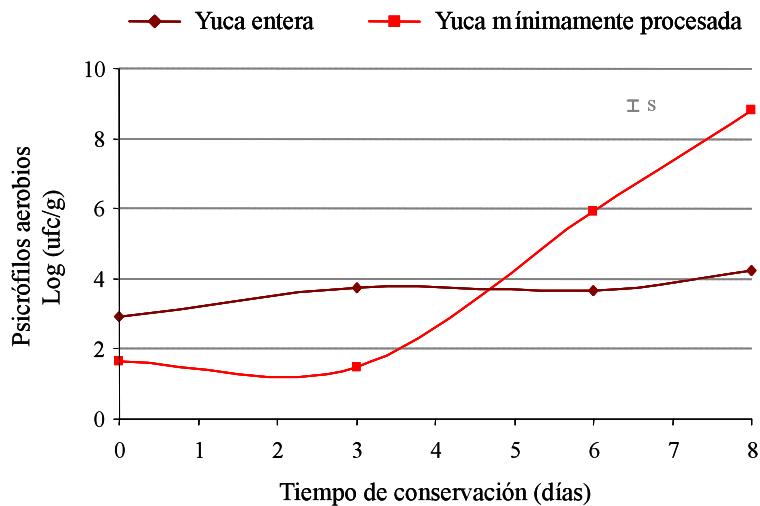


Figura 121. Recuento total de microorganismos aerobios mesófilos en la yuca entera conservada a 10°C y en la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C.

La carga de microorganismos aerobios psicrófilos durante el periodo de conservación se muestra en la **Figura 122a**.

a)



b)

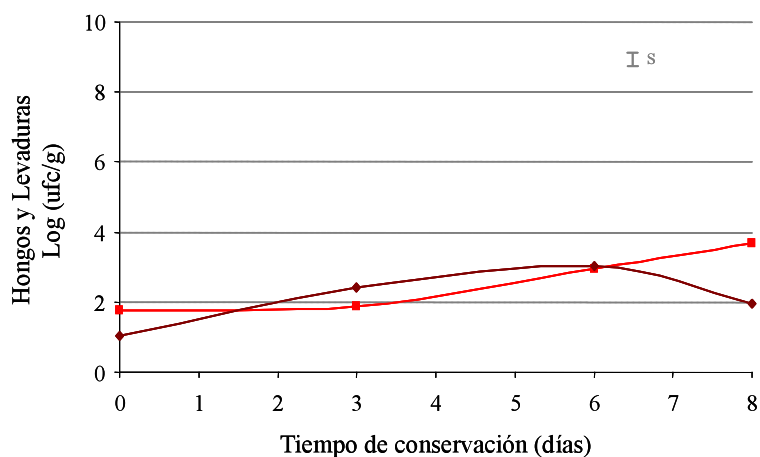


Figura 122. Recuento total de microorganismos aerobios psicrófilos (a) y hongos y levaduras (b) en la yuca entera conservada a 10°C y en la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C.

Dicha carga fue superior en la yuca entera que en el tubérculo procesado durante los tres primeros días de conservación. En ambos productos se produjo un incremento de la carga desde el momento del procesado hasta el último día de conservación, que en el caso de la yuca entera fue 0,6 unidades logarítmicas y en

la procesada, 3,5 unidades logarítmicas; por lo tanto, en el producto cortado la carga de microorganismos aerobios psicrófilos fue mayor que la del producto entero a partir del sexto día de almacenamiento refrigerado. La carga de hongos y levaduras también fue superior en el producto entero que en el procesado entre el tercer y sexto día de conservación. No obstante, en el último día de conservación la carga fue similar en ambos productos. Además, se produjo un incremento de la carga, tanto en la yuca sin procesar como en la que fue mínimamente procesada. En el producto entero, dicho incremento se produjo hasta el sexto día, ya que al octavo día la carga descendió ligeramente; en cambio, en la yuca mínimamente procesada, se observó que la carga se mantuvo constante desde el momento del procesado hasta el tercer día y posteriormente aumentó hasta el último día (Figura 122b). Sin embargo, hay que resaltar que la carga de hongos y levaduras fue baja, no sobrepasando las 4,0 Log (ufc/g) al final de la conservación.

En relación a la calidad sensorial de la yuca cruda, los catadores observaron que el aspecto general de la yuca entera y procesada empeoró durante el periodo de conservación. Así, la yuca entera en el momento del procesado fue puntuada con un valor de $8,4 \pm 1,1$ y después de tres días de estar almacenada a 10°C con $5,2 \pm 1,0$. En cambio, en el tubérculo procesado, el empeoramiento en el aspecto de la yuca se produjo después de ocho días de conservación. Excepto el primer día de conservación, en el que ambos productos fueron valorados de manera similar, el resto de los días de conservación los catadores valoraron el producto procesado mejor que el entero (entre 2,3 y 3,3 puntos más alto). En cuanto al color de la yuca, se observó la misma tendencia. Este parámetro se modificó en ambos productos, sufriendo un empeoramiento, aunque fue más evidente en la yuca entera. Durante los seis primeros días de conservación los catadores no detectaron diferencias entre los dos productos; en cambio, al octavo día coincidieron en que la yuca procesada presentó mejor color que la entera (2,4 puntos mejor valorado).

En el inicio de la conservación el 100% de los panelistas indicaron que comprarían el tubérculo entero y el procesado mínimamente; sin embargo a partir de este día hasta el último día de conservación la mayoría de los panelistas se decantaron por la yuca procesada. De tal manera que, a los ocho días de conservación el 86% de los catadores comprarían la yuca cruda mínimamente procesada mientras que un 57% de los mismos comprarían el tubérculo entero (Figura 123).

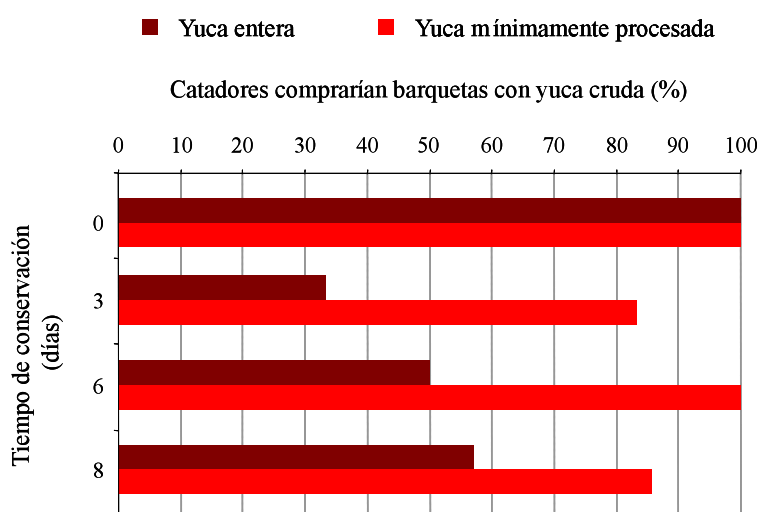


Figura 123. Catadores (%) que comprarían yuca cruda entera conservada a 10°C y la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C.

Durante los tres primeros días de conservación, los catadores valoraron el aspecto general y el color del producto cocinado de manera similar en ambos productos. A partir de ese día el aspecto general de la yuca procesada fue mejor valorada que la entera. La valoración del aspecto general y del color de ambos productos disminuyó durante la conservación, siendo mejor puntuada la yuca procesada a los ocho días de conservación (Figuras 124a y 124b), siempre por encima del límite de aceptabilidad.

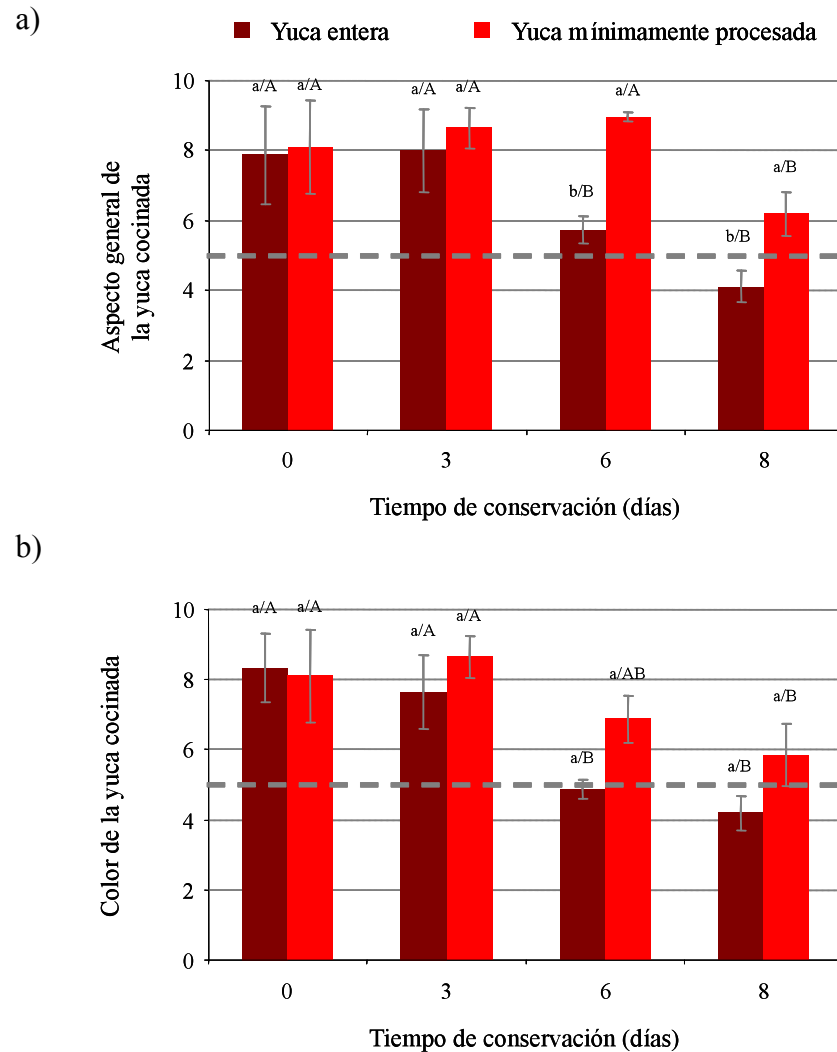


Figura 124. Aspecto general (a) y color (b) de la yuca cocinada entera conservada a 10°C y de la yuca mínimamente procesada conservada durante ocho días a 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Los catadores no detectaron sabores extraños en la yuca mínimamente procesada cocinada durante el periodo de conservación; sin embargo, en el producto entero, el 17% de los catadores detectaron la presencia de sabores amargos a los ocho días de conservación. En la elección final, un porcentaje muy alto de los catadores se decantaron por el producto mínimamente procesado durante todo el periodo de conservación (Figura 125).

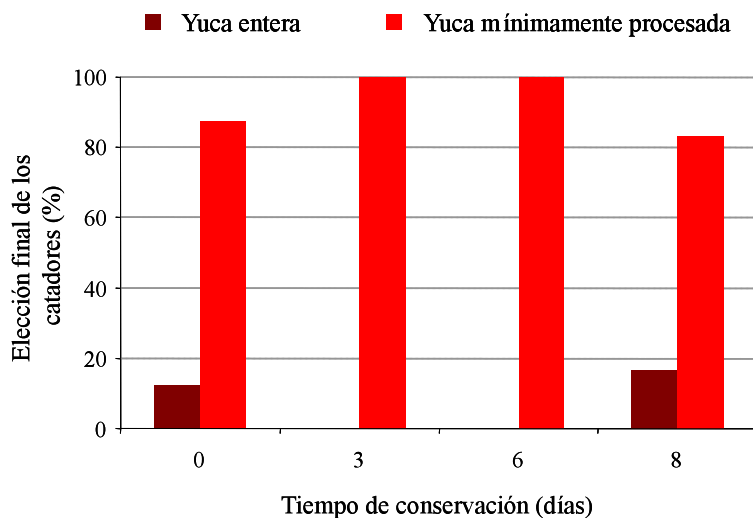


Figura 125. Elección final de los catadores (%) de yuca entera conservada a 10°C o de yuca mínimamente procesada conservada a 5°C durante ocho días.

Como conclusión, se puede señalar que la calidad de la yuca mínimamente procesada fue similar a la de la yuca entera. Así, el desarrollo de estriado vascular, tanto en la incidencia como en la severidad fue parecida. La modificación del color fue mayor en las raíces enteras que fueron peladas y troceadas ocho días después del almacenamiento. Además, la calidad higiénico-sanitaria de ambos productos fue muy buena, aunque ligeramente superior en la yuca entera al octavo día de conservación. Sin embargo, la yuca mínimamente procesada fue mucho mejor valorada por los catadores. Hay que señalar que una de las grandes ventajas del producto mínimamente procesado para el consumidor es que, cuando el tubérculo está sin procesar, se desconoce si éste presenta estriado vascular, por lo tanto para saber si presenta dicho deterioro es necesario pelar el producto.

4.11. Evaluación de diferentes presentaciones de yuca procesada mínimamente

Durante el procesado se producen importantes daños mecánicos en los productos vegetales. En la operación de pelado y troceado se produce la liberación de enzimas que se ponen en contacto con los sustratos sobre los que actúan (López-Gálvez *et al.*, 1996); también se produce un incremento de la tasa respiratoria y de la producción de etileno y el metabolismo de los compuestos fenólicos se acelera (Ferrerres *et al.*, 1997; Abe *et al.*, 1998). Además, el corte hace que los productos sean más susceptibles a sufrir alteraciones microbianas (Orsat *et al.*, 2001) en la superficie de los tejidos. Estos procesos están directamente relacionados con la senescencia y pérdida de calidad de los productos vegetales mínimamente procesados. Por lo tanto, es necesario comprobar como se modifica la calidad de la yuca en función del tipo de corte. Desde el punto de vista comercial, la presentación de un producto es fundamental para que sea aceptado por el consumidor. Además, la calidad culinaria de las raíces de yuca es un parámetro importante en la selección de variedades de consumo humano. El tiempo de cocción presenta variaciones entre raíces de una misma variedad (Fukuda y Borges, 1988; Borges *et al.*, 1992). Hay estudios que revelan que este factor varía con el tipo de suelo, variedad y edad de la planta (Borges y Fukuda, 1989; Fukuda y Borges, 1990; Borges *et al.*, 2002). Por lo tanto, cada una de las formas de cocinado en que se puede consumir la yuca requiere seleccionar el tipo de presentación que mejor se adapte al procesado y que tenga mayor aceptación. Por lo tanto, una vez optimizadas las etapas de procesado para la obtención de yuca mínimamente procesada, se evaluó la aptitud al procesado mínimo y la aceptación por los consumidores de distintas presentaciones destinadas a dos tipos de cocinado (fritura o guisado): troncos (yuca cortada en trozos de aproximadamente 4 cm de grosor), *chips* (rodajas de yuca de menos de 1,5 mm de

grosor) lisas y onduladas y yuca rallada. Los troncos fueron guisados y las *chips* onduladas, *chips* lisas y el rallado fueron fritas.

En la siguiente foto (Foto 28) se observan las presentaciones que se evaluaron en este estudio:



Foto 28. Presentaciones de yuca mínimamente procesada.

Antes de la evaluación de la calidad de las diferentes presentaciones durante la conservación a 5°C, se llevaron a cabo unas pruebas preliminares en las que se fijó el tiempo y la temperatura a la que la yuca debía ser cocinada, tanto en el guisado como en la fritura (Foto 29). Las condiciones idóneas fueron:

- Guisado de troncos en agua hirviendo durante una hora y diez minutos. Por cada 100 g de yuca se empleó aproximadamente 1,5 l de agua y 3 g de sal.

- Fritura de *chips* (lisas y onduladas) y rallado en aceite de oliva a 160°C durante 3 minutos.

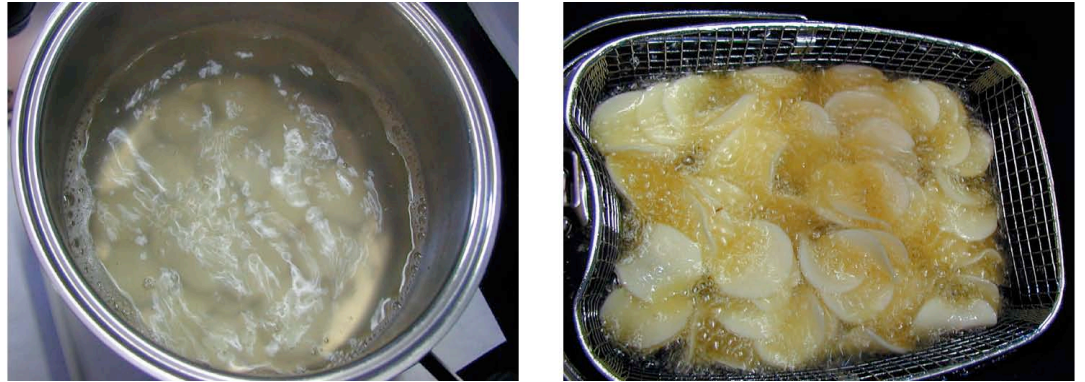


Foto 29. Procesos de cocinado de la yuca mínimamente procesada: guisado (izquierda) y fritura (derecha).

En la Foto 30 se muestra el aspecto de las presentaciones una vez cocinadas.

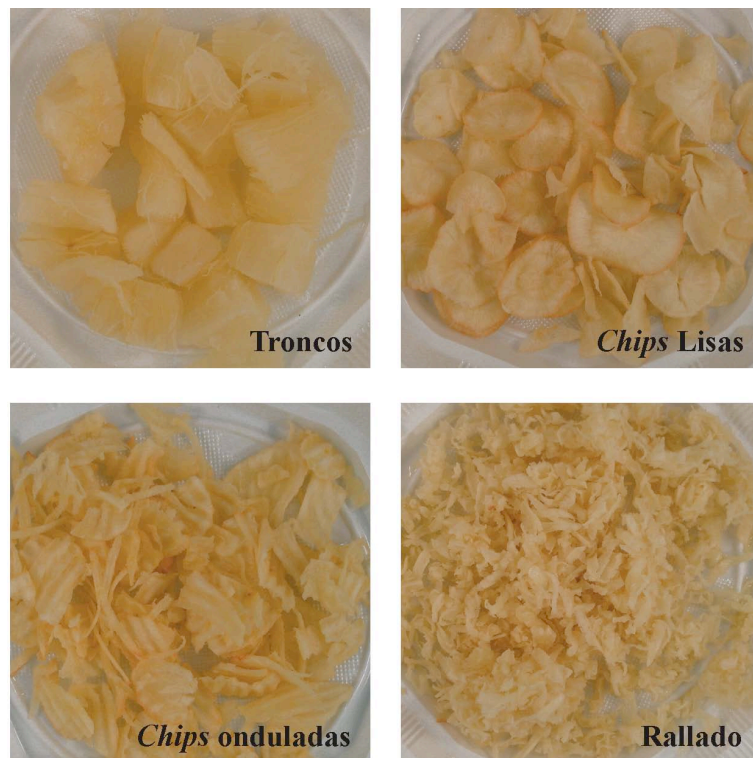


Foto 30. Aspecto de las distintas presentaciones de yuca cocinadas.

Vilpoux (2003) sugirió para la producción de *chips* de yuca pre-cocer los trozos de yuca (5-7 cm) antes de cortarlos en rodajas y freírlas. Para ello, evaluó dos tiempos de pre-cocción (5 u 8 minutos) y observó que la pre-cocción de la yuca durante 8 minutos hizo que la raíz se ablandara y por tanto dificultó el corte y la fritura de las rodajas; en cambio, cuando la pre-cocción de los trozos fue de 5 minutos obtuvo raíces más firmes que facilitaron el troceado en rodajas de la yuca. Además, evaluó distintas temperaturas del aceite de fritura (130, 150 ó 170°C) y observó que cuando se frieron las rodajas de yuca durante 3 minutos a 150°C se obtuvo un producto de calidad, mientras que cuando fueron fritas a 170°C, las *chips* presentaron un aspecto más oscuro y un ligero gusto a quemado. Oliveira *et al.* (2009c) señalaron que, independientemente del tratamiento aplicado [escaldado durante 5 minutos a 100°C y envasado con o sin vacío o inmersión en ácido cítrico (0,5%) durante 2 minutos y envasado al vacío o sin tratar envasado con o sin vacío], el tiempo de cocción de la yuca mínimamente procesada aumentó durante los 36 días de conservación, aunque en ningún tratamiento superó los 19 minutos.

El número de barquetas que presentaron estriado vascular aumentó durante la conservación en todas las presentaciones evaluadas, excepto en el rallado en el que dicho deterioro no fue patente durante la conservación. Los troncos fueron los primeros en manifestar el estriado vascular, produciéndose al día siguiente del procesado con un 10% de las barquetas con vascularización pasando al 100% al cuarto día. En las *chips* lisas, se manifestó al sexto día (30% de las barquetas), presentando al octavo día estriado vascular el 95% de las barquetas. En las *chips* onduladas dicho deterioro se presentó a partir del noveno día en el que el 65% de las barquetas tenían estriado vascular (Figura 126a). La severidad aumentó durante la conservación en los troncos y en las *chips* lisas. A los nueve días de conservación la severidad en los troncos fue del $49 \pm 23\%$, mientras que en las *chips* lisas fue del $15 \pm 8\%$ y en las *chips* onduladas $2 \pm 2\%$ (Figura 126b).

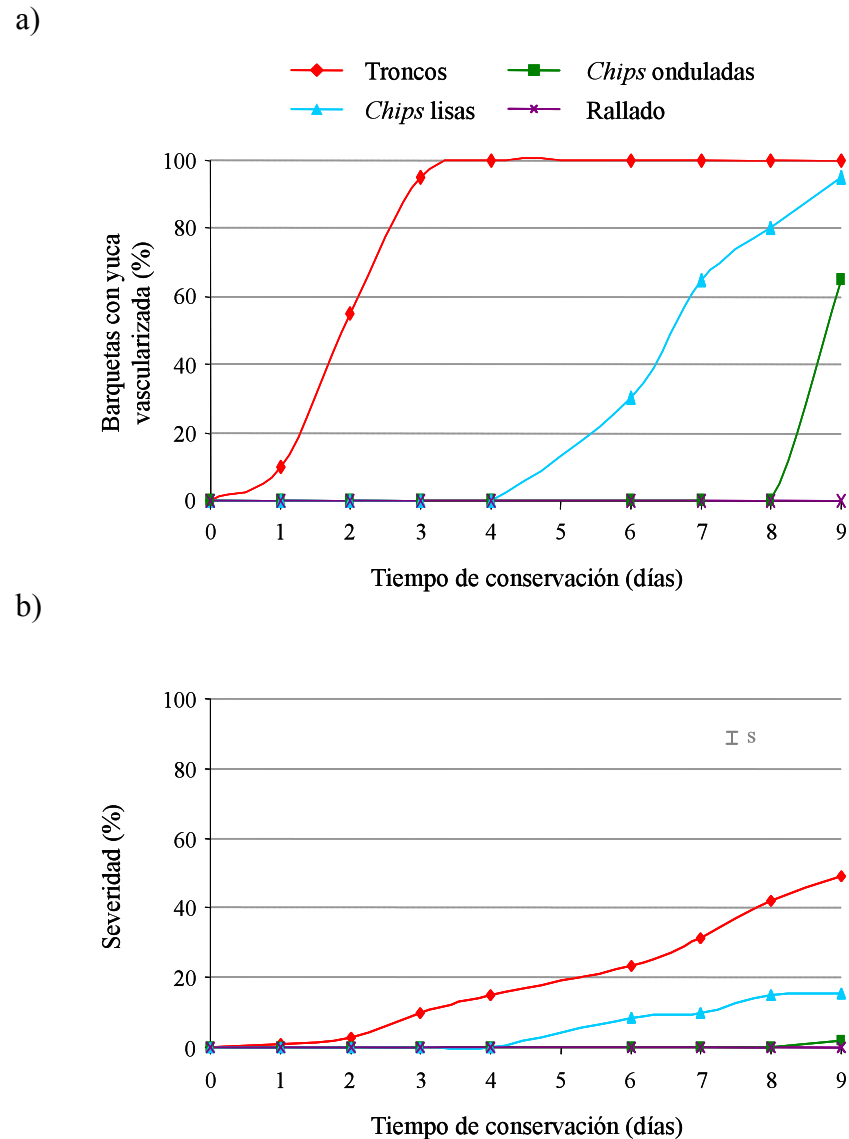


Figura 126. Efecto del tipo de presentación sobre el estriado vascular de la yuca mínimamente procesada conservada durante nueve días a 5°C: barquetas con yuca vascularizada (a) y severidad del deterioro (b).

La tasa respiratoria de la yuca procesada en las distintas presentaciones se midió durante las nueve horas posteriores al pelado y corte (Figura 127). Independientemente de la presentación evaluada la tasa respiratoria fue máxima una hora después del procesado. A las tres horas después del corte la tasa respiratoria disminuyó considerablemente en todas las presentaciones y se

mantuvo más o menos constante hasta nueve horas después del procesado. El incremento de la tasa respiratoria después de una hora del procesado está causado por el estrés ocasionado por el corte, que da lugar a la descompartimentalización celular (Salveit, 2003). El posterior descenso de la respiración después de una hora de procesado del producto puede deberse a la autorregulación del tejido causado por la alta producción de ATP (adenosín trifosfato) (Purvis, 1997). Así, una hora después del procesado la yuca cortada en forma de *chips* lisas fue la que mayor tasa respiratoria presentó (60 ± 6 ml CO₂/kg*h), seguida de las *chips* onduladas (51 ± 8 ml CO₂/kg*h). En cambio, los troncos fueron los que menor tasa respiratoria mostraron (16 ± 3 ml CO₂/kg*h). Este mismo comportamiento se observó durante las nueve horas después del corte.

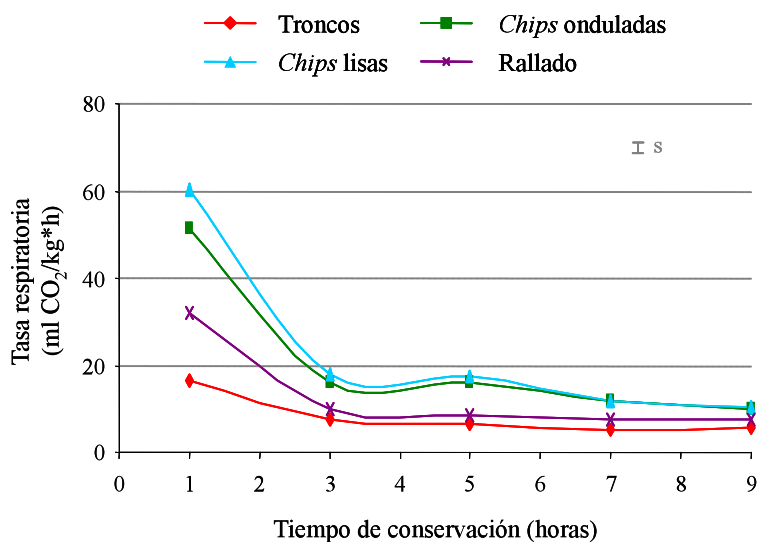


Figura 127. Tasa respiratoria de las distintas presentaciones de yuca durante las nueve horas después del procesado y conservación a 5°C.

Izumi *et al.* (1996) observaron que la zanahoria mínimamente procesada respiró de manera diferente dependiendo del tipo de corte. Cuando fue cortada en rodajas se produjo una disminución progresiva de la tasa respiratoria; en los palitos se produjo un ligero incremento durante los seis primeros días de

conservación y posteriormente disminuyó; en cambio, en las tiras se produjo un incremento significativo durante seis días y luego disminuyó. Vitti *et al.* (2003) evaluaron distintos espesores, entre 2 y 8 mm, en beterrada mínimamente procesada conservada durante diez días a 5°C y aunque detectaron un incremento de la tasa respiratoria dos días después del procesado, que disminuyó en días posteriores, no observaron diferencias significativas entre los espesores evaluados. Lo mismo fue descrito por Kluge *et al.* (2006) cuando evaluaron distintas presentaciones de beterrada durante diez días a 5°C. Aquino-Bolaños *et al.* (2000) señalaron que la tasa respiratoria fue similar en trozos, discos y tiras de jícama durante ocho días de conservación a 5 y 10°C.

No se detectó producción de etileno durante las nueve horas después del procesado en ninguna de las presentaciones evaluadas.

La concentración de oxígeno en el interior de las barquetas se mantuvo constante durante los nueve días de conservación en todas las presentaciones evaluadas. Además, no se observaron diferencias significativas entre ellas, siendo la composición media de $11 \pm 3\%$ (Figura 128).

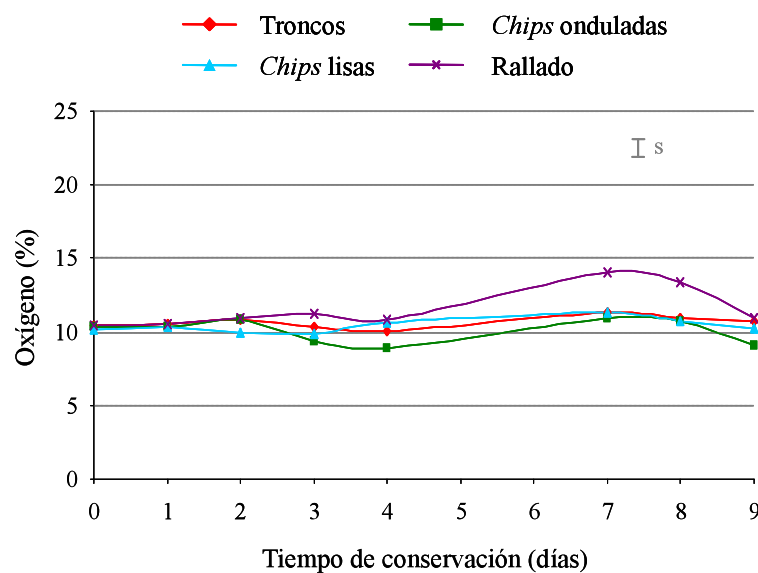


Figura 128. Oxígeno acumulado en el interior de las barquetas de distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada conservadas durante nueve días a 5°C.

La concentración de dióxido de carbono en el interior de las barquetas aumentó significativamente en todas las presentaciones durante los nueve días de conservación (Figura 129). Durante los tres primeros días de conservación la acumulación de dióxido de carbono fue ligeramente mayor en las presentaciones en forma de *chips* (lisas y onduladas) que en los troncos; en cambio, a partir del tercer hasta el noveno día después del procesado la composición fue similar para todas las presentaciones con un contenido en dióxido de carbono del $4,6 \pm 2,7\%$ el último día de conservación. Padda y Picha (2008) no observaron diferencias en la composición de la atmósfera en el interior de las bolsas de batata troceada en distintas presentaciones (rallado, rodajas y bastones) durante ocho días a 0°C. Sin embargo, cuando la conservación se hizo a 5°C, observaron que en el rallado, a partir del cuarto día, la composición de dióxido de carbono aumentó y la de oxígeno disminuyó, presentando a los ocho días de conservación en el envase una composición más alta de dióxido de carbono y más baja de oxígeno que las rodajas y los bastones.

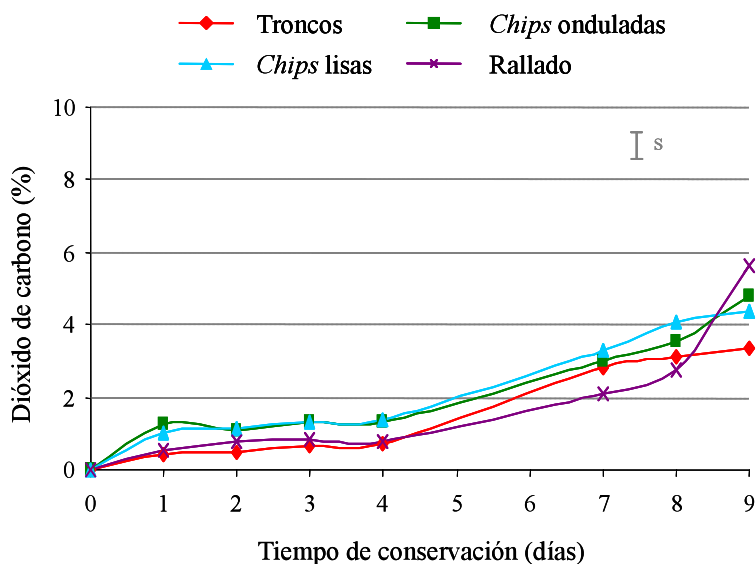


Figura 129. Dióxido de carbono acumulado en el interior de las barquetas de distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada conservadas durante nueve días a 5°C.

La acumulación de etileno en el interior de las barquetas se incrementó durante la conservación en todas las presentaciones evaluadas (Figura 130). Las barquetas con troncos acumularon, desde el momento de ser procesadas, más etileno que el resto de presentaciones. Así, el último día de conservación el volumen de etileno en las barquetas que contenían los troncos fue de $2,6 \pm 1,9 \mu\text{l}$ etileno, mientras que en el resto de presentaciones fue de $0,78 \pm 0,50 \mu\text{l}$ etileno. Izumi *et al.* (1996) envasaron en un 0,5% de oxígeno y un 10% de dióxido de carbono distintas presentaciones de zanahorias (rallado, rodajas y bastones) y las conservaron a tres temperaturas. Observaron que la producción de etileno en todas las presentaciones fue menor a $0,1 \mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{h}$ etileno durante doce días de conservación.

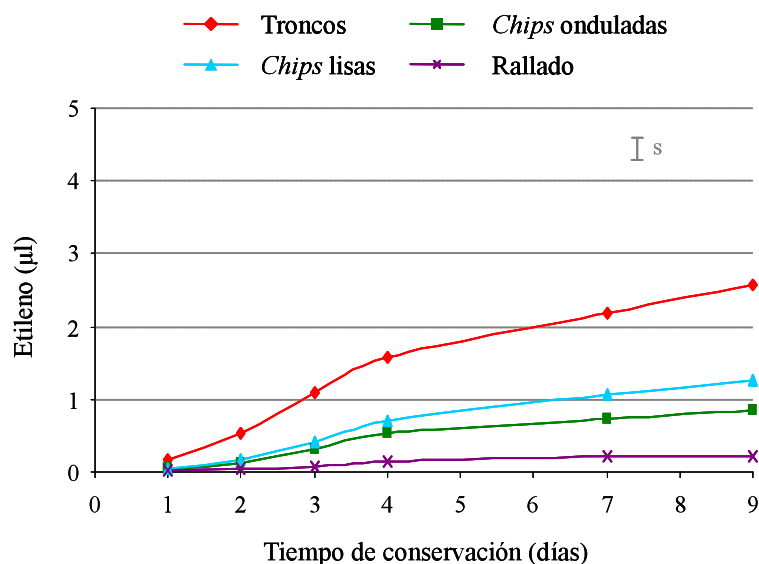


Figura 130. Acumulación de etileno en el interior de las barquetas con distintas presentaciones de yuca procesada mínimamente conservadas durante nueve días a 5°C.

La pérdida de peso que se produjo en todas las presentaciones evaluadas fue muy baja (menor del 0,010%). Además, el tipo de corte no afectó directamente a este parámetro, tal y como observaron Vitti *et al.* (2003) y Kluge *et al.* (2006) en beterrada cortada en diferentes presentaciones conservada durante diez días a 5°C.

Durante la conservación, no se observó deshidratación en ninguna de las presentaciones evaluadas.

La luminosidad descendió en todas las presentaciones evaluadas durante la conservación (Figura 131a). En el momento del procesado la luminosidad más alta la presentaron las *chips* (lisas y onduladas), cuyo valor medio fue de 90 ± 1 , seguido de los troncos 88 ± 1 y el rallado 86 ± 2 . A los nueve días de conservación no se observaron diferencias entre presentaciones, aunque sí se produjo una disminución respecto a la luminosidad inicial (79 ± 3).

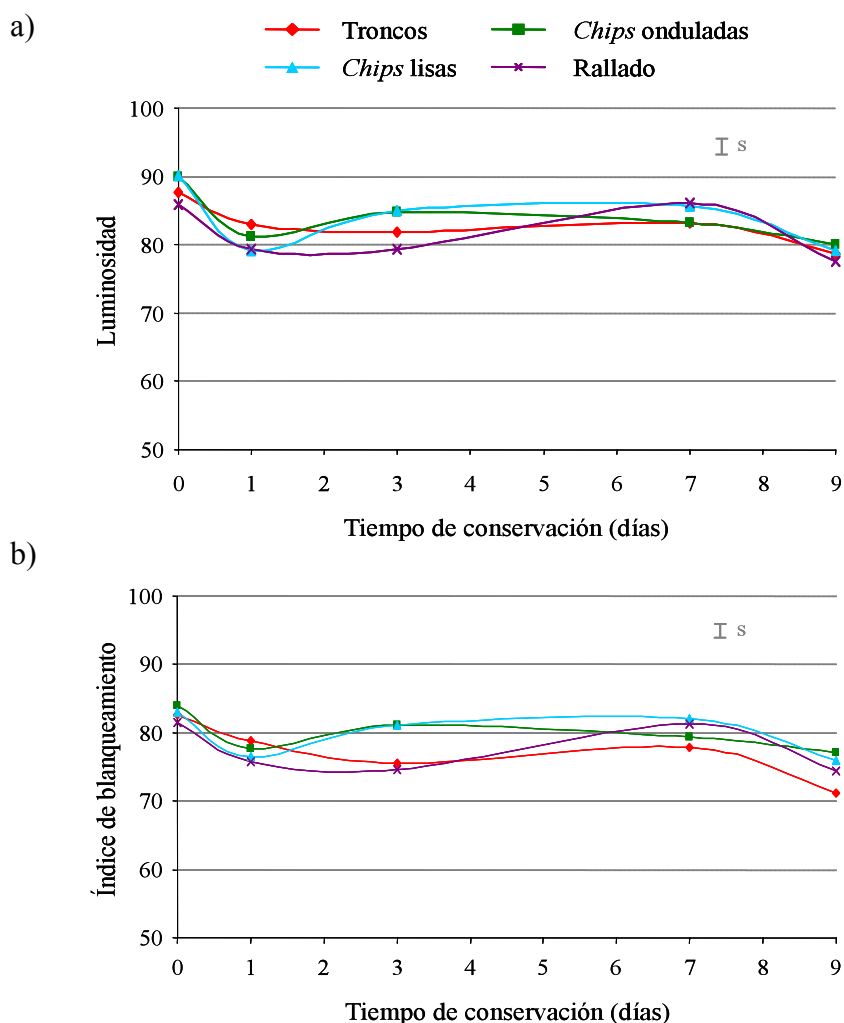


Figura 131. Luminosidad (a) e índice de blanqueamiento (b) de distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada conservada durante nueve días a 5°C.

En todas las presentaciones se produjo un descenso del índice de blanqueamiento desde el momento del procesado hasta el último día de conservación. A los nueve días de conservación, los troncos fueron los que menor índice de blanqueamiento presentaron (71 ± 1) respecto al resto de presentaciones (76 ± 3) (Figura 131b).

En todas las presentaciones se modificó el color desde el momento del procesado hasta los nueve días de conservación, en el que este parámetro alcanzó valores similares en todas las presentaciones evaluadas (10 ± 4). El primer día de conservación se produjo un importante cambio en las *chips* (lisas y onduladas) y en el rallado que alcanzó valores similares a los obtenidos el último día de conservación. En el caso de las *chips* lisas y *chips* onduladas dicho valor descendió a partir del primer día hasta el séptimo día de conservación y en el rallado se mantuvo hasta el tercer día para luego descender al séptimo día (Figura 132).

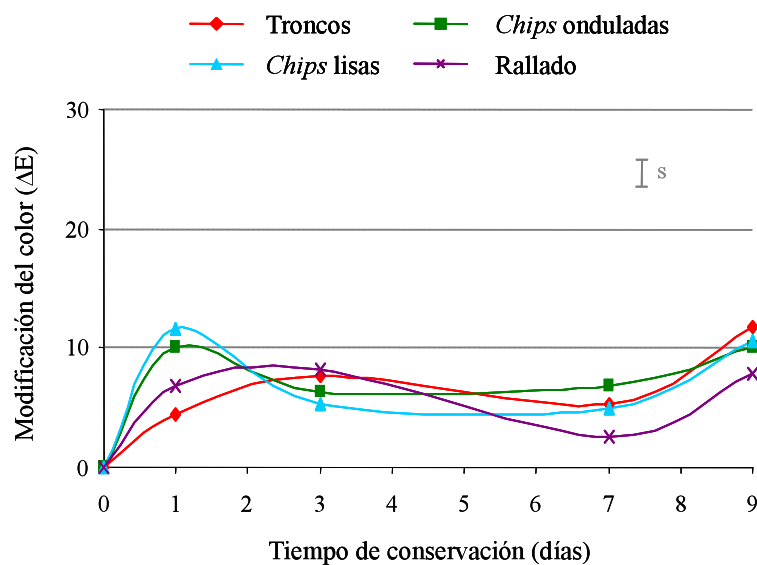


Figura 132. Modificación del color de distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada conservada durante nueve días a 5°C .

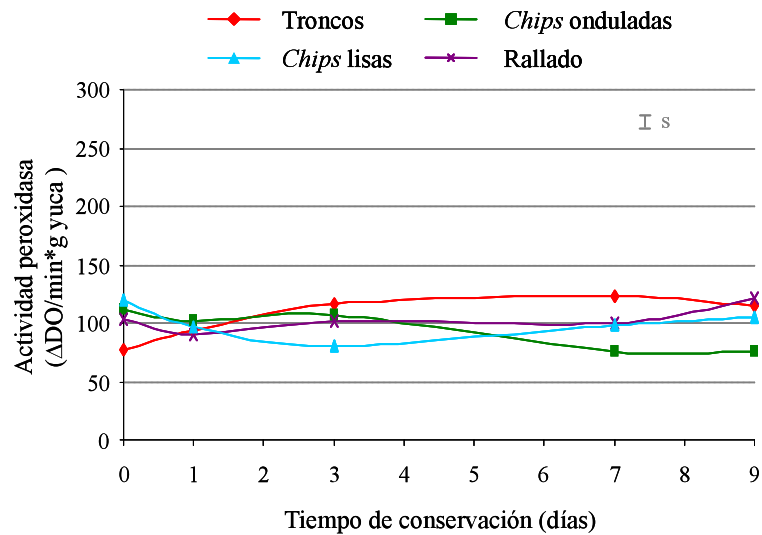
Vitti *et al.* (2003) y Kluge *et al.* (2006) observaron una disminución de la intensidad del color durante la conservación (diez días) a 5°C de beterradas mínimamente procesadas independientemente del espesor de los distintos cortes del tubérculo y de la presentación evaluada, respectivamente.

Durante los nueve días de conservación, se observó en la yuca cocinada que, la luminosidad de los troncos y el rallado fue ligeramente inferior a la que presentaron las *chips* lisas y onduladas. Además, en las *chips* onduladas y en el rallado la luminosidad se mantuvo constante durante todo el periodo de conservación; en cambio, en los troncos y *chips* lisas dicho parámetro aumentó ligeramente, desde el primer día hasta el último día de conservación. El color también se modificó durante la conservación, independientemente de la presentación evaluada. El color de los troncos, las *chips* lisas y las *chips* onduladas se modificó durante los tres primeros días de conservación y a partir de ese día se mantuvo constante; sin embargo, en la presentación en forma de rallado la modificación del color fue progresiva desde el primer día hasta el último día de conservación. Rodríguez-Saona y Wrolstad (1997) evaluaron la aptitud a la fritura en forma de *chips* de cinco variedades de papa (“Snowden”, “AC Ptarmigan”, “FL 1625”, “FL 1815” y “ND2471-8”). Observaron que las variedades “AC Ptarmigan” y “ND2471-8” presentaron un color más oscuro, siendo el valor de la luminosidad, 49, mientras que en la variedad “FL 1815” fue 58. Además, señalaron que la concentración de azúcares reductores no fue suficiente para explicar o predecir el color final de las papas fritas, cuando la concentración de los mismos fue baja (< 60 mg/100g). Por otro lado, señalaron que existió una correlación negativa entre el color obtenido y las concentraciones de ácido ascórbico, fructosa, un isómero del ácido clorogénico, glucosa y glutamina.

La actividad de la enzima peroxidasa (Figura 133a) se incrementó durante la conservación en los troncos y el rallado, siendo la actividad en el momento del procesado de 77 ± 6 y 104 ± 11 $\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca, respectivamente, y a los nueve

días de conservación fue de 116 ± 10 y 122 ± 5 $\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca. Sin embargo, en las *chips* onduladas se produjo una disminución desde el momento del procesado hasta el último día de conservación (desde 112 ± 13 hasta 75 ± 20 $\Delta\text{DO}/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca). La única presentación que mostró la misma actividad peroxidasa recién procesada y al final de la conservación fue la de las *chips* lisas.

a)



b)

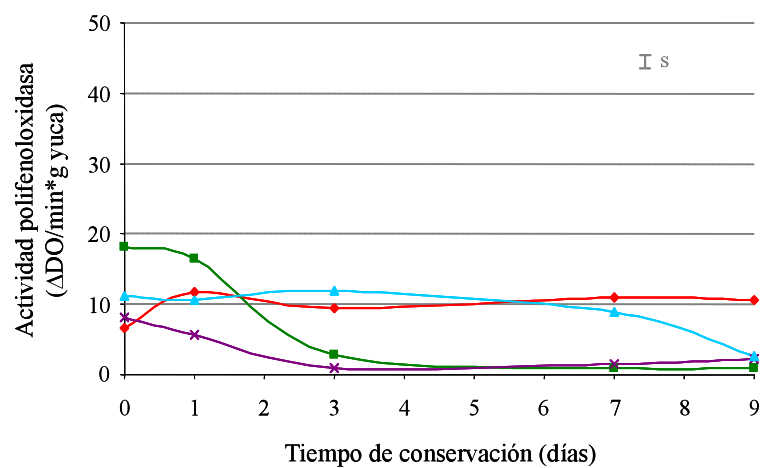


Figura 133. Actividad de la enzima peroxidasa (a) y polifenoloxidasasa (b) de distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada conservada durante nueve días a 5°C .

La actividad de la enzima polifenoloxidasa aumentó durante la conservación en los troncos, tal y como sucedió con la peroxidasa. En cambio, en las *chips* lisas, *chips* onduladas y rallado la actividad disminuyó (Figura 133b). Después del procesado las *chips* onduladas fueron las que mayor actividad enzimática mostraron, $18 \pm 3 \Delta\text{DO}/\text{min}^*\text{g}$ yuca, seguidas de las *chips* lisas, $11 \pm 2 \Delta\text{DO}/\text{min}^*\text{g}$ yuca. Las presentaciones que menor actividad mostraron fueron los troncos y el rallado, con una actividad media de $7,4 \pm 2,8 \Delta\text{DO}/\text{min}^*\text{g}$ yuca. Al final de la conservación los troncos fueron los que mayor actividad presentaron $11 \pm 2 \Delta\text{DO}/\text{min}^*\text{g}$ yuca y en el resto de presentaciones no se observaron diferencias, siendo la actividad media aproximadamente cinco veces menor ($2,0 \pm 0,9 \Delta\text{DO}/\text{min}^*\text{g}$ yuca).

Durante el periodo de conservación no se detectó la presencia de manchas amarillas en ninguna de las presentaciones evaluadas.

La firmeza de las distintas presentaciones evaluadas, antes del cocinado, se muestra en la Figura 134. En todas las presentaciones la firmeza se mantuvo constante durante la conservación. La presentación que presentó menor firmeza fue la de los troncos ($4,3 \pm 1,8 \text{ N/g}$) y las que mayor firmeza mostraron, no existiendo diferencia significativa entre ellas, fueron las *chips* (lisas y onduladas) ($27 \pm 7 \text{ N/g}$). Asimismo, la yuca rallada mostró una firmeza media casi dos veces menor ($15 \pm 4 \text{ N/g}$) que las *chips* (lisas y onduladas).

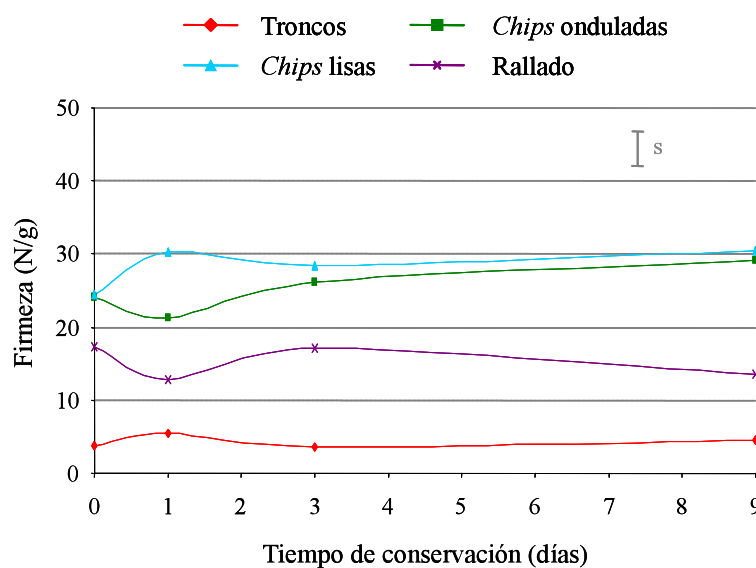


Figura 134. Firmeza (N/g) de las distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada cruda conservada durante nueve días a 5°C.

Además de medir la firmeza en el producto crudo, se midió en el producto una vez cocinado. En los troncos, el método de cocinado fue el guisado y para las *chips* (lisas y onduladas) y el rallado la fritura. Como muestra la [Figura 135](#), la firmeza media de los troncos fue muy baja, $1,4 \pm 0,5$ N/g, en relación a las otras presentaciones evaluadas y además, se mantuvo constante durante el periodo conservación. La firmeza de las *chips* onduladas y el rallado también permaneció constante durante el periodo de conservación, aunque las *chips* onduladas presentaron mayor firmeza que el rallado, 105 ± 20 y 29 ± 7 N/g, respectivamente. La presentación en forma de *chips* lisas fue la que mostró mayores modificaciones en la firmeza durante la conservación. Así, aunque durante los tres primeros días después del corte la firmeza se mantuvo constante en valores intermedios entre las *chips* onduladas y el rallado (67 ± 21 N/g), a partir de este día se incrementó significativamente hasta alcanzar al noveno día una firmeza altísima (190 ± 45 N/g).

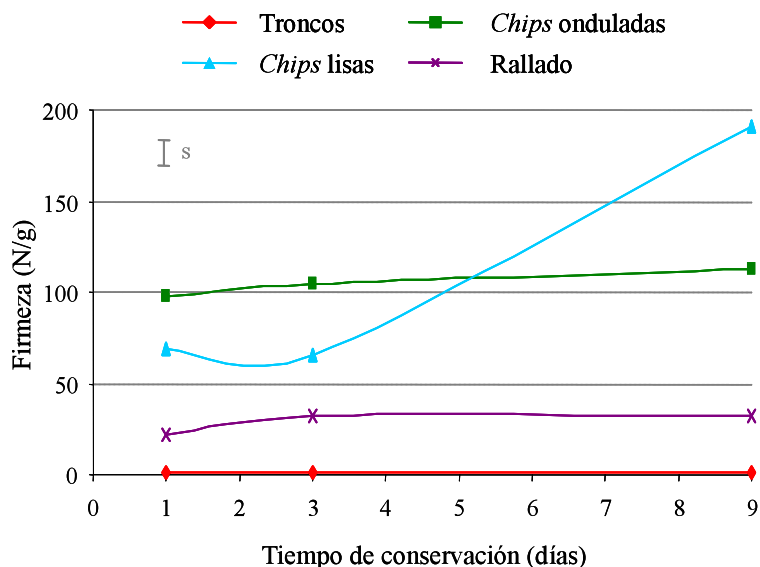
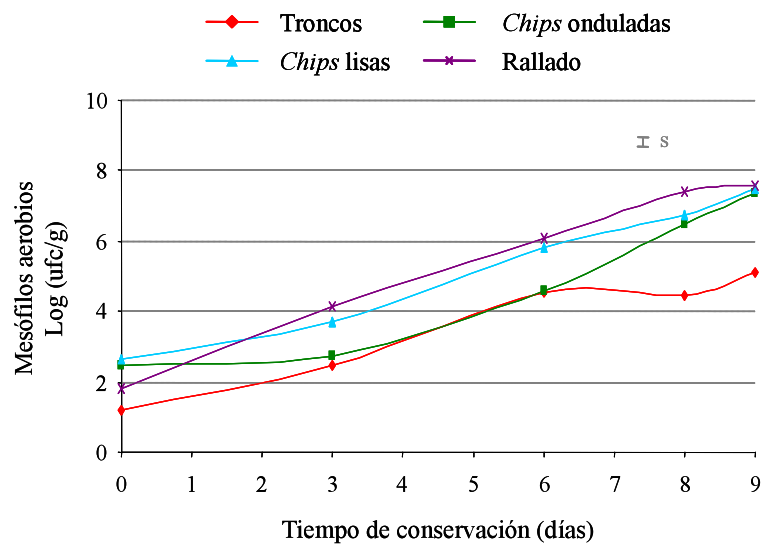


Figura 135. Firmeza (N/g) de las distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada cocinada conservada durante nueve días a 5°C.

La carga total de microorganismos aerobios mesófilos aumentó en todas las presentaciones durante el periodo de conservación. En la [Figura 136a](#) se observa que, recién procesada la yuca, la presentación que menor carga presentó fue la de los troncos, $1,2 \pm 0,2$ Log (ufc/g), seguida del rallado con $1,8 \pm 0,4$ Log (ufc/g). La carga inicial más alta la presentaron las *chips* (lisas y onduladas), aunque entre ellas no se observaron diferencias significativas [$2,6 \pm 0,1$ Log (ufc/g)]. Durante la conservación, el incremento de la carga fue menos acusado en los troncos, aproximadamente cuatro unidades logarítmicas; en cambio, en la yuca rallada el incremento llegó a ser de cerca de seis unidades. Tal y como sucedió en el momento del procesado, no se observaron diferencias significativas entre las *chips* (lisas y onduladas) en el incremento de la carga de mesófilos aerobios durante la conservación, rondando las cinco unidades logarítmicas. Hay que señalar que los niveles de microorganismos aerobios mesófilos en las presentaciones en forma de *chips* onduladas, *chips* lisas y el rallado, no cumplieron con la normativa española (RD 3484/2000) a los nueve días de conservación, debido a que superaron los

límites establecidos en 7,0 Log (ufc/g), mientras que en los troncos la carga no superó 6,0 Log (ufc/g). Por lo tanto, desde el punto de vista de la calidad higiénico-sanitaria, la vida comercial de la yuca en forma de *chips* fue de ocho días y la del rallado de seis días.

a)



b)

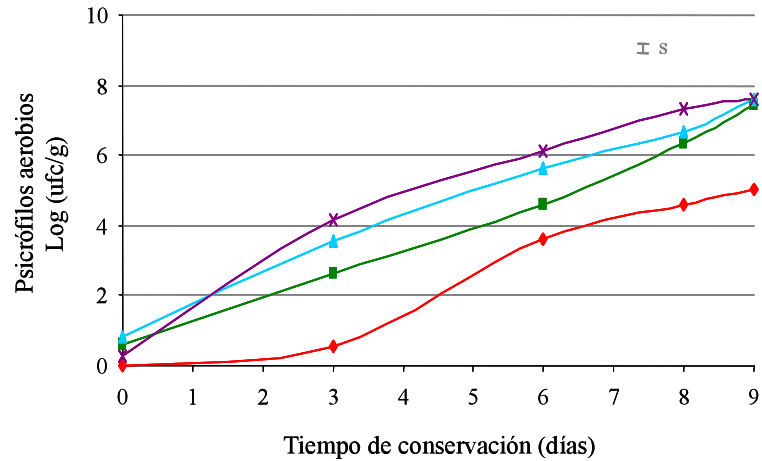


Figura 136. Recuento total de microorganismos aerobios mesófilos (a) y aerobios psicrófilos (b) en distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada conservadas durante nueve días a 5°C.

En la [Figura 136b](#) se muestra la carga de microorganismos aerobios psicrófilos en las distintas presentaciones evaluadas durante nueve días de conservación. Se observó que, independientemente de la presentación evaluada, se produjo un incremento de la carga microbiana durante la conservación. A los nueve días la menor carga la presentaron los troncos, que inicialmente no estaban contaminados por estos microorganismos psicrófilos y al final tenían una carga de $5,0 \pm 0,2$ Log (ufc/g). En cambio, las presentaciones en forma de *chips* (lisas y onduladas) y el rallado presentaron una carga superior, no sólo el último día de conservación, sino también durante el almacenamiento. Entre estas tres presentaciones, la que mayor carga presentó durante la conservación fue la yuca rallada. Sin embargo el último día de conservación la carga fue similar en todas ellas [$7,5 \pm 0,2$ Log (ufc/g)]. De acuerdo con lo descrito por Brecht (1995), cuanto mayor es la rotura de los tejidos, mayor es la velocidad de deterioro en los productos mínimamente procesados. En el caso de la yuca mínimamente procesada la que mayor rotura presentó fue el rallado, seguido de las *chips* y esto se vio reflejado en un mayor crecimiento de bacterias en estas presentaciones.

La carga de hongos y levaduras también se incrementó durante los nueve días de conservación en todas las presentaciones ([Figura 137](#)). En la yuca recién procesada la carga fue similar para todas las presentaciones evaluadas, siendo la carga media de $0,27 \pm 0,47$ Log (ufc/g). El último día de conservación fueron las *chips* onduladas las que tuvieron mayor carga [$5,3 \pm 0,1$ Log (ufc/g)], presentando el menor recuento la yuca rallada [$3,9 \pm 0,1$ Log (ufc/g)].

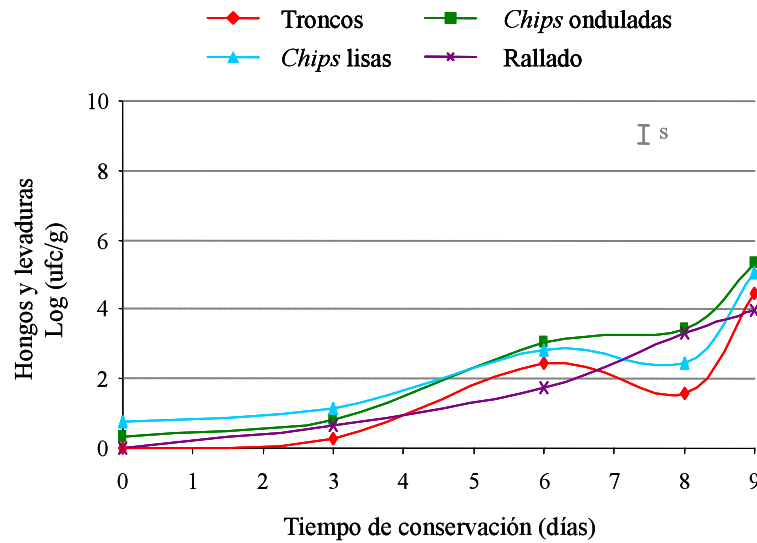


Figura 137. Recuento total de hongos y levaduras en distintas presentaciones de yuca mínimamente procesada conservadas durante nueve días a 5°C.

Los catadores detectaron un empeoramiento del aspecto general de las presentaciones en forma de troncos y en las *chips* lisas (Figura 138a). Tal y como se describió con anterioridad, la incidencia de estriado vascular fue mayor en estas dos presentaciones y, por lo tanto, el desarrollo de este deterioro fisiológico afectó enormemente a la valoración del aspecto general de la yuca. Los troncos de yuca fueron los peor valorados a partir del tercer día de conservación, siendo evaluados por debajo del límite de aceptabilidad el séptimo y el noveno día después del procesado. Sin embargo, el resto de presentaciones no fueron valoradas por debajo de este límite en ningún momento. En cuanto a las *chips* (lisas y onduladas), la valoración fue positiva durante la conservación, aunque en el caso de las *chips* lisas, descendió ligeramente el último día de conservación, como se señaló anteriormente.

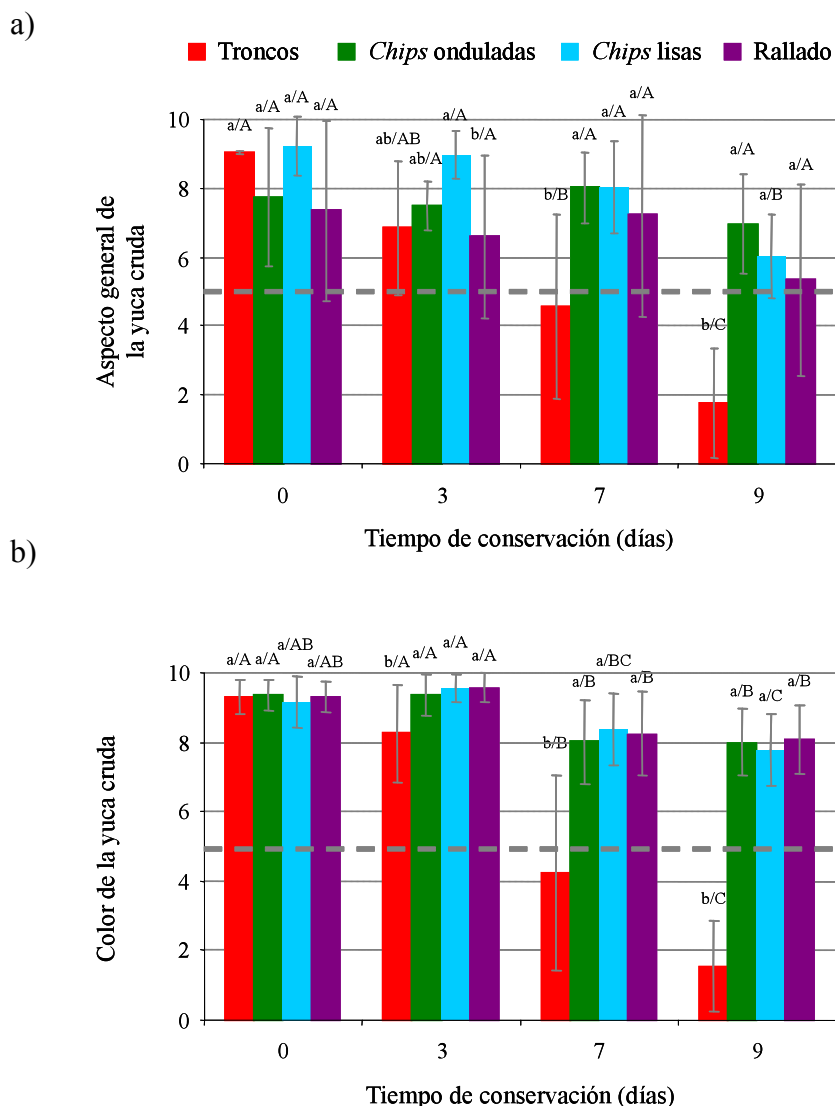


Figura 138. Aspecto general (a) y color (b) de las distintas presentaciones de yuca cruda conservada durante nueve días a 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

El color fue valorado por los panelistas de manera similar al aspecto general (Figura 138b). Los troncos de yuca fueron los peor valorados durante la conservación, llegando a estar incluso por debajo del límite de aceptación el séptimo y noveno día de conservación. En cambio los catadores no detectaron diferencias significativas entre el resto de presentaciones, evaluando peor el color

de las distintas presentaciones el séptimo y noveno día después del corte de la yuca. Resende *et al.* (2004) indicaron que, durante catorce días a 7°C, el rallado de la zanahoria de la variedad “Nantes” mantuvo mejor el color y la apariencia, que la cortada en rodajas, aunque las rodajas de zanahoria mantuvieron mejor el aroma y la textura. Estos autores recomendaron el rallado de zanahoria, en vez del corte en rodajas. Vitti *et al.* (2003) evaluaron la calidad sensorial de rodajas de beterrada cortada en distintos espesores (2, 5 ó 8 mm) durante diez días a 5°C. Independientemente del corte, se produjo un empeoramiento del aspecto del tubérculo durante la conservación, aunque fue más severo en las rodajas de 5 y 8 mm, ya que a los cuatro días fueron puntuadas en el límite de aceptación; sin embargo, las rodajas de 2 mm de grosor fueron puntuadas en dicho límite a los seis días.

Recién procesada la yuca el 100% de los catadores comprarían las presentaciones crudas en forma de troncos y *chips* lisas, sin embargo, un porcentaje menor comprarían las *chips* onduladas y el rallado (80 y 60%, respectivamente). A los nueve días de conservación el 100% de los catadores comprarían las *chips* lisas, mientras que un 80% de los panelistas comprarían las *chips* onduladas y el rallado y ninguno de ellos comprarían los troncos (Figura 139).

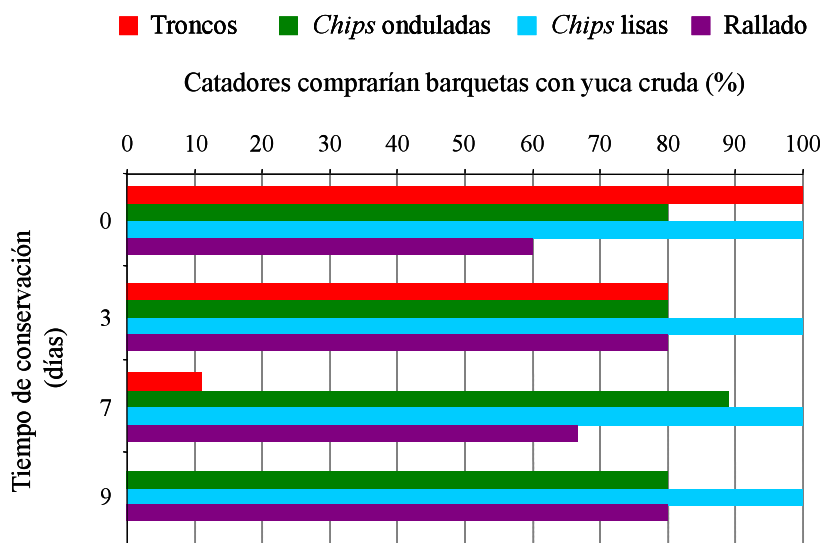


Figura 139. Porcentaje de catadores que comprarían las distintas presentaciones de yuca cruda conservada durante nueve días a 5°C.

Los catadores manifestaron que el aspecto general y el color tanto de la yuca guisada como de la frita empeoraron durante el periodo de conservación (Figura 140a). En general, la valoración de los troncos fue la más baja disminuyendo durante la conservación, aunque en ningún momento estuvo por debajo del límite de aceptación. En la Figura 140b se observa como los catadores detectaron un deterioro en el color de la yuca cocinada. Sin embargo, todas las presentaciones fueron valoradas por encima del límite de aceptación durante los siete días de conservación en que se evaluó la yuca cocinada, sin que se observaran diferencias significativas entre ellas.

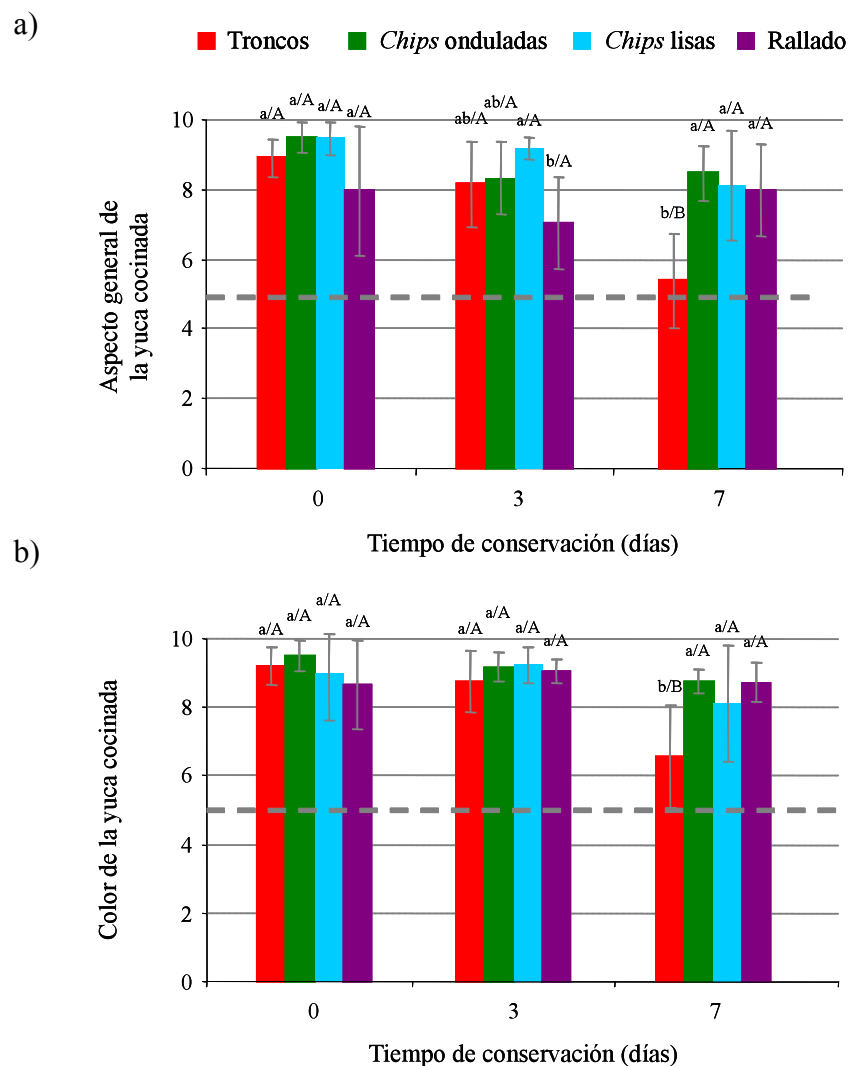


Figura 140. Aspecto general (a) y color (b) de las distintas presentaciones de yuca cocinada conservada durante nueve días a 5°C. Letras minúsculas o mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos o entre días de conservación, respectivamente. La línea gris horizontal de puntos indica el límite de aceptabilidad.

Grizotto y Menezes (2003) evaluaron la aceptación sensorial de dos variedades de *chips* de yuca (“IAC Mantiqueira” e “IAC-576-70”). Antes de la fritura a 170°C, los tubérculos fueron cortados en rodajas de 1 mm de grosor y pre-tratados (pre-cocción, fermentación o cocción y secado parcial). Las dos variedades presentaron características óptimas para la elaboración de *chips*,

aunque los catadores se decantaron por la variedad “IAC-576-70”. Además, indicaron que para la elaboración de *chips* fue necesaria la combinación de la cocción durante 3 minutos y el secado parcial a 50°C durante tres horas antes de la fritura. En cuanto a la fermentación de las rodajas de yuca antes de la fritura, no fue un pre-tratamiento adecuado para la producción de este producto.

Los catadores no detectaron la presencia de sabores extraños en ninguna de las presentaciones ensayadas.

Una vez evaluados los parámetros anteriormente descritos, los catadores seleccionaron la presentación que les pareció más aceptable. Como se observa en la [Figura 141](#) las *chips* lisas fue la presentación que, en general, más aceptación obtuvo durante la conservación, aunque a los siete días de conservación los catadores detectaron que dicha presentación, una vez cocinada, estaba mucho más dura que en días anteriores, lo que la hacía difícil de comer. En cambio, los troncos fueron los peor valorados durante la conservación debido, principalmente, a la alta incidencia de estriado vascular que presentaron. Si bien el primer día de conservación las *chips* onduladas no fueron seleccionadas por los catadores, en los días sucesivos de conservación fueron valoradas muy positivamente. La yuca rallada sólo fue seleccionada el séptimo día de conservación y el resto de los días no fue elegida por ninguno de los catadores.

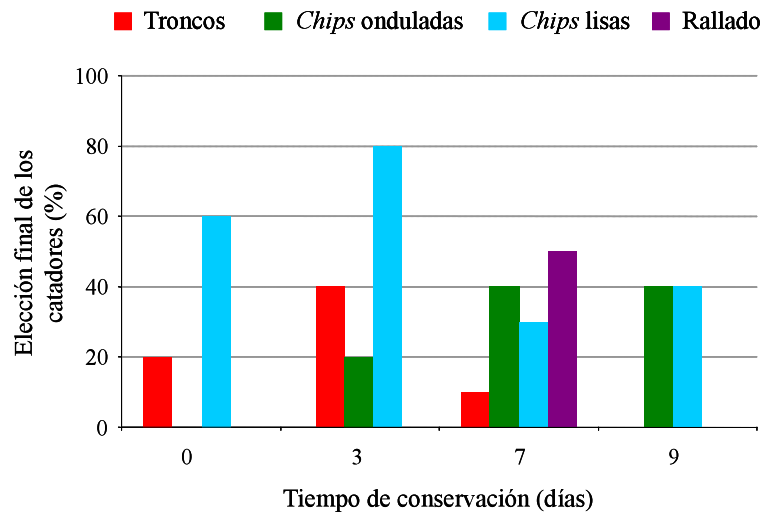


Figura 141. Elección final de los catadores de la presentación de yuca procesada mínimamente conservada durante nueve días a 5°C.

Como conclusión, se puede indicar que el desarrollo del estriado vascular, tanto la incidencia como la severidad, fue mucho más patente en la presentación en forma de troncos, siendo menos apreciable en las *chips* lisas y en el rallado. Sin embargo, la calidad higiénico-sanitaria, en todas las presentaciones, excepto en los troncos, fue elevada a los nueve días de conservación, siendo necesario descartar el producto desde el séptimo día. Las *chips* lisas, las *chips* onduladas y el rallado fueron las presentaciones mejor valoradas por los catadores durante la conservación por su bajo estriado vascular y por su calidad sensorial, aunque en dichas presentaciones habría que extremar la higiene en su preparación.

5. CONCLUSIONES

El estriado vascular es el proceso de deterioro fisiológico más evidente que sufre la yuca, tanto entera como mínimamente procesada, haciéndose patente en los tubérculos a las pocas horas de la recolección si no se conserva en condiciones adecuadas.

La yuca mínimamente procesada, conservada a 5°C, tiene una vida útil de ocho días cuando se procesa en forma de troncos para el guisado o de *chips* para la fritura y de seis días cuando se procesa en forma de rallado. Durante ese tiempo presenta una calidad sensorial similar a la del producto entero, además de una calidad higiénico-sanitaria segura. Sin embargo, hay que resaltar que la severidad del estriado vascular es mucho más patente en la presentación en forma de troncos, siendo menos apreciable en la de *chips* y en el rallado. Además, las *chips*, lisas u onduladas, y el rallado fueron las presentaciones mejor valoradas por los catadores durante la conservación por su baja incidencia de estriado vascular y por su calidad sensorial.

De entre los factores optimizados, la temperatura y tiempo de conservación de la yuca entera antes del procesado, las condiciones de envasado (*film* y la atmósfera) y la temperatura de almacenamiento son los que tienen mayor importancia sobre la calidad de la yuca mínimamente procesada. Del estudio de cada una de las etapas del procesado se concluyó que:

1. Las condiciones del transporte entre el campo de cultivo y la planta de procesado son cruciales para procesar una materia prima con la calidad adecuada, en términos de incidencia y gravedad del estriado vascular. El tiempo ha de ser el más corto posible y la temperatura ha de estar controlada sin sufrir oscilaciones importantes.

2. Tanto las raíces primarias como las secundarias presentaron buena aptitud para el procesado mínimo.

3. El tipo de terreno en el que fue cultivada la yuca afectó al deterioro fisiológico de la yuca, que se manifestó en forma de estriado vascular más severo en los tubérculos cultivados en terrenos arcillosos que en terrenos pedregosos.

4. La operación tecnológica de pelado fue más rápida y la incidencia de estriado vascular fue menor en las raíces de yuca de 18 meses que en las de 11 meses de edad fisiológica.

5. La conservación de la yuca antes del procesado a 10°C durante 18 horas permitió procesar un tubérculo de buena calidad sensorial en lo que a incidencia de estriado vascular se refiere.

6. El lavado de la yuca entera, antes del procesado, ha de realizarse en tres etapas. La primera de ellas consiste en un lavado por inmersión acompañado de un cepillado del tubérculo, utilizando un volumen de agua de 10 l/kg yuca. Los dos siguientes lavados han de realizarse por inmersión en 2,5 l agua/kg yuca durante 5 minutos. En todos los casos el agua ha de clorarse con hipoclorito sódico a una concentración de 200 mg/l, a un pH entre 6,0 y 7,5 y una temperatura de 5°C.

7. La inmersión del tubérculo entero en hidróxido sódico o en agua a temperaturas entre 30 y 50°C, para facilitar el desprendimiento de la corteza del parénquima, dieron resultados negativos desde el punto de vista de la calidad de la yuca mínimamente procesada.

8. Los recubrimientos evaluados no alargaron la vida comercial ni controlaron el estriado vascular de la yuca mínimamente procesada de forma significativa.

9. El envasado en un *film* impermeable y con una concentración inicial de oxígeno del 10% fue la atmósfera óptima para la conservación de yuca mínimamente procesada.

10. La temperatura de conservación tiene un efecto importante sobre la calidad sensorial e higiénico-sanitaria de la yuca mínimamente procesada, siendo la temperatura óptima 5°C.

11. Los tubérculos procesados y conservados a temperatura constante 5°C durante toda su vida útil presentaron menor estriado vascular, menor modificación del color y menor carga de microorganismos aerobios mesófilos y psicrófilos que aquellos para los que se simuló la cadena comercial.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abadías, M., Usall, J., Oliveira, M., Alegre, I. y Viñas, I. (2008). Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 123 (1-2), 151-158.
- Abe, K. y Watada, A.E. (1991). Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 56 (6), 1589-1592.
- Abe, K., Tanase, M. y Chachin, K. (1998). Studies on physiological and chemical changes of fresh-cut bananas (Part I). Effect of cutting modes on the changes of physiological activity and deterioration in fresh-cut green tip bananas. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 67, 123-129.
- Agar, I.T., Massantini, R., Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. (1999). Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *Journal of Food Science*, 64, 433-440.
- Ahvenainen, R.T. y Hurme, E.U. (1994). Minimally processing of vegetables. En: *Minimal Processing of Foods*. Ahvenainen, R., Matilla-Sandholm, T y Olhsson, T. (Eds.). Espoo, Finlandia, VTT Symposium 142, 17-35.
- Ahvenainen, R.T., Hurme, E.U., Hägg, M., Skyttä, E.H. y Lurila, E.K. (1998). Shelf-life of pre-peeled potato cultivated, stored and processed by various methods. *Journal of Food Protection*, 61 (5), 591-600.
- Alasalvar, C., Al-Farsi, M., Quantick, P.C., Shahidi, F. y Wiktorowicz, R. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Food Chemistry*, 89 (1), 69-76.
- Alberghini, L., Ricci, B., Serraino, A., Rosmini, R., Poeta, A., Alberti, C.A. y Liuzzo, G. (2000). Transport and distribution of "ready to eat" dishes:

- microbiological survey and sanitary evaluations. *Industrie Alimentari*, 39, 452-456.
- Allem, A.C. (1994). The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 41, 133-150.
- Allem, A.C. (2002). The origins and taxonomy of cassava. En: *Cassava: biology, production and utilization*. Hillocks, R.J., Thresh, J.M. y Belloti, A.C. (Eds.). CABI Publishing, Nueva York, EE.UU., 1-16.
- Alves, A., Cansian, R.L., Stuart, G. y Valduga, E. (2005). Alterações na qualidade de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) mínimamente processadas. *Ciência e Agrotécnia, Lavras*, 29 (2), 330-337.
- Amanatidou, A., Slump, R.A., Gorris, L.G.M. y Smid, E.J. (2000). High oxygen and high carbon dioxide modified atmosphere for shelf-life extension of minimally processed carrots. *Journal of Food Science*, 65 (1), 61-66.
- Angós, I.A., Leránoz, P., Fernández, T. y Vírveda, P. (2006). Efecto del CO₂ en la respiración y propiedades físicas de patatas mínimamente procesadas, conservadas en atmósferas con baja concentración de oxígeno. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 216, 62-68.
- Angós, I.A., Vírveda, P. y Fernández, T. (2008). Control of respiration and color on minimally processed potatoes by means of low and high oxygen and carbon dioxide atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 48 (3), 422-430.
- AOAC. (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*, 15 ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington. EE.UU., 1058-1059.
- Aquino-Bolaños, E.N., Cantwell, M.I., Peiser, G. y Mercado-Silva, E. (2000). Changes in the quality of fresh-cut jicama in relation to storage temperatures and controlled atmospheres. *Journal of Food Science*, 65 (7), 1238-1243.
- Aquino-Bolaños, E.N. y Mercado-Silva, E. (2004). Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin contents on the

- browning of cut jicama. *Postharvest Biology and Technology*, 33 (3), 275-283.
- Aracena, J.J., Sargent, S.A. y Brecht, J.K. (1994). Efecto de la parafina en la conservación de la yuca fresca. Documento informe para la Universidad de Florida, Gainesville, EE.UU., 13 p.
- Araújo, N.M., Gusmão, M.T.A., Rocha, M.M.B., Serrão, B.O., Barata, A.C.A. y Rocha, O.M. (2007). Conservação de mandioca mínimamente processada submetida a diferentes cortes e embalagens. En: *59ª Reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. 14ª Jornada Nacional de Iniciação Científica, 2007*, Brasil.
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. (2007). Guía Técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO nº 163, Roma, Italia, 129 p.
- Arroyo, G. (1988). Ingenierías de fermentación y enzimática. En *Biotecnología: ¿Una salida para la crisis agroalimentaria?* Plaza y Valdés, Méjico, 72-77.
- Artés-Calero, F. y Artés-Hernández, F. (2003). Etapas decisivas y diseño de instalaciones para la elaboración de productos en fresco. En: *Productos hortofrutícolas mínimamente procesados*. Lobo, M.G y González, M. (Eds.). Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Tenerife, España, 57-78.
- Avena-Bustillos, R.J., Cisneros-Zevallos, L.A., Krochta, J.M. y Saltveit, M.E. (1994). Application of casein-lipid edible *film* emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 4, 319-329.
- Averre, C.W. (1967). Vascular streaking of stored cassava roots. En: *Proceedings of the 1st International Symposium on Tropical Root Crops*, Trinidad, 31-35.
- Axtell, B. y Adams, L. (1998). Procesamiento de tubérculos. En: *Intermediate Technology Development Group. United Nations Development Fund for Women*. Lima, ITDG-Perú, Lima, Perú, 25-27

- Ayhan, Z., Eştürk, O. y Taş, E. (2008). Effect of modified atmosphere packaging on the quality and shelf life of minimally processed carrots. *The Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 57-64.
- Azevedo, F.L.A.A., Lima, A.S., Queiroga, G., Farias, L.R.G. y Silva, N.F.I. (2008). Avaliação das propriedades físico-químicas da mandioca in natura e da farinha panificável. En: *IV Seminario de Agroindustria, III Jornada Nacional da Agroindustria*. UFPB Bananeiras, Brasil, vol. 1, 1.
- Baker, R.A. y Hagenmaier, R.D. (1997). Reduction of fluid loss from grapefruit segments with wax microemulsion coatings. *Journal of Food Science*, 62 (4), 789-792.
- Baldwin, E.A., Nisperos Carriedo, M.O., Chen, X. y Hagenmaier, R.D. (1996). Improving storage of cut apple and potato with edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9, 151-163.
- Bari, M.L., Sabina, Y., Isobe, S., Uemura, T. y Isshiki, K. (2003). Effectiveness of electrolyzed acidic water in killing *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* on the surfaces of tomatoes. *Journal of Food Protection*, 66 (9), 542-548.
- Barrios, E.A. y Bressani, R. (1967). Composición química de la raíz y de la hoja de algunas variedades de yuca *Manihot. Turrialba*, 17 (3), 314-320.
- Barry-Ryan, C. y O'Beirne, D. (1998). Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method. *Journal of Food Science*, 63 (5), 851-856.
- Barry-Ryan, C., Pacussi, J.M. y O'Beirne, D. (2000). Quality of shredded carrots as affected by packaging film and storage temperature. *Journal of Food Science*, 65 (4), 726-730.
- Barry-Ryan, C. y O'Beirne, D. (2000). Effects of peeling methods on the quality of ready-to-use carrots slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 35 (2), 243-254.
- Beeching, J.R., Yuanhuai, H., Gómez-Vázquez, R., Day, R.C. y Cooper, R.M. (1998). Wound and defence responses in cassava as related to post-harvest

- physiological deterioration. En: *Recent advances in Phytochemistry*. Vol. 32. *Phytochemical Signals in Plant-Microbe Interactions*. Romeo, J.T., Downum, K.R. y Verpporte, R. (Eds.). Premium Press, Nueva York, EE.UU., 231-248.
- Beltrán, D., Selma, M.V., Tudela, J.A. y Gil, M.I. (2005). Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 37 (1), 37-46.
- Beuchat, L.R. (1992). Surface disinfection of raw produce. *Food and Environmental Sanitation*, 12 (1), 6-9.
- Bezerra, V.S., Pereira, R.G.F.A., Carvalho, V.D. y Vilela, E.R. (2002a). Raízes de mandioca mínimamente processadas: efeito do branqueamento na qualidade e na conservação. *Ciência e Agrotecnologia*, 26 (3), 564-575.
- Bezerra, V.S., Pereira, R.G.F.A., Carvalho, V.D. y Vilela, E.R. (2002b). Processamento mínimo em mandioca: alterações na qualidade e componentes nutricionais. En: *Congreso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Porto Alegre, R.S. Brasil. Anais.
- Bolin, H.R. y Huxsoll, C.C. (1991). Control minimally processed carrots (*Daucus carota* L.) surface discoloration caused by abrasion peeling. *Journal of Food Science*, 56 (2), 416-422.
- Booth, R.H. y Coursey, D.G. (1974). Storage of cassava and related to postharvest problems. En: *Proceedings of an international workshop on Cassava processing and storage*. International Development Research Centre (IDRC), Pattaya, Tailandia, 43-49.
- Booth, R.H. (1976). Storage of fresh cassava (*Manihot esculenta*). I. Postharvest 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.

- Borges, M.F. y Fukuda, W.M.G. (1989). Teor de cianeto em raízes frescas e processadas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de mesa. *Revista Brasileira de Mandioca*, 8 (2), 71-76.
- Borges, M.F., Carvalho, V.D. y Fukuda, W.M.G. (1992). Efeito de tratamento térmico na conservação pós-colheita de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de mesa. *Revista Brasileira de Mandioca*, 11 (1), 7-18.
- Borges, M.F., Fukuda, W.M.G. y Rossetti, A.G. (2002). Avaliação de variedades de mandioca para consume humano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (11), 1559-1565.
- Brackett, R.E. (1994). Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed fruits and vegetables. En: *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. Wiley, R.C. (Ed.). Chapman and Hall, Nueva York, EE.UU., 269-312.
- Bradbury, J.H. y Holloway, W.D. (1988). Chemistry of tropical root crops: Significance for nutrition and agriculture in the Pacific. Australian Center of International Agricultural Research (Ed.), Canberra, Australia, 201 p.
- Brecht, J.K. (1995). Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *Hortscience*, 30 (1), 18-22.
- Brecht, J.K. (2003). Underground storage organs. En: *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Bartz, J.A. y Brencht, J.K. (Eds.). Marcel Dekker Inc., Nueva York, EE.UU., 625-647.
- Buitrago, A.J.A., Gil, J.L. y Ospina, B. (2001). La yuca en la alimentación avícola. *Cuadernos avícolas n° 14*. Federación Nacional de Avicultores, Fondo Nacional Avícola (FENAVI-FONAV), Bogotá, Colombia, 47 p.
- Burgos, A.M., Cenóz, P.J. y López, A.E. (2005). Efecto de las podas y del sistema de almacenamiento sobre factores de calidad de raíces de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Agrotecnia*, 15, 22-24.
- Buschmann, H., Reilly, K., Rodríguez, M.X., Tohme, J. y Beeching, J.R. (2000a). Hydrogen peroxide and flavan-3-ols in storage roots of cassava

- (*Manihot esculenta* Crantz) during postharvest deterioration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (11), 5522-5529.
- Buschmann, H., Rodríguez, M.X., Tohme, J. y Beeching, J.R. (2000b). Accumulation of hydroxycoumarins during post-harvest deterioration of tuberous roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Annals of Botany*, 86, 1153-1160.
- Caillet, S., Millette, M., Salmiéri, S. y Lacroix, M. (2006). Combined effects of antimicrobial coating, modified atmosphere packaging and gamma irradiation on *Listeria innocua* present in ready-to-use carrots (*Daucus carota*). *Journal of Food Protection*, 69 (1), 80-85.
- Cantos, E., Tudela, M.I. y Espin, J.C. (2002). Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (10), 3015-3023.
- Cantwell, M.I. (2001). Properties and Recommended conditions for storage of Fresh Fruits and Vegetables. Último acceso Diciembre 2009. <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/storage/index.shtml>
- Cantwell, M.I. y Suslow, T.V. (2002). Postharvest handling systems: fresh-cut fruits and vegetables. En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader, A.A. (Ed.). University of California, Oakland, EE.UU., 445-463.
- Carlin, F., Nguyen-The, C., Chambroy, Y. y Reich, M. (1990). Effects of controlled atmospheres on microbial spoilage, electrolyte leakage and sugar content of fresh, "ready to use" grated carrots. *International Journal of Food Science and Technology*, 25 (1), 110-119.
- Carrasco, E.U. y Cisneros-Zevallos, L. (2002). Efecto del escaldado y recubrimiento higroscópico sobre la calidad de zanahorias (*Daucus carota* var. *Chantenay*) pre-cortadas durante el almacenamiento. *Archivos latinoamericanos de nutrición (ALAN)*, 52 (2), 187-192.
- Carvalho, V.D., Chalfoun, S.M. y Huei-Wang, S. (1982). Armazenamento pós-colheita da mandioca. Influência da composição química de raízes de

- cultivares de mandioca sobre a resistência a deterioração pós-colheita (fisiológica e microbiológica). *Revista Brasileira de Mandioca*, 1 (1), 15-24.
- Ceballos, H. y De la Cruz, A. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En: *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Ceballos, H. y Ospina, B. (Eds.). CIAT, Cali, Colombia, 16-32.
- Ceballos, H. y Ospina, B. (2002). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Ceballos, H. y Ospina, B. (Eds.). CIAT, Cali, Colombia, 586 p.
- Ceballos, H., Iglesias, C.A., Pérez, J.C. y Dixon, A.G.O. (2004). Cassava breeding: opportunities and challenges. *Plant Molecular Biology*, 56 (4), 503-516.
- Cereda, M.P., Sarmiento, S.B.S., Wosiacki, G. y Abbud, N.S.A. (1990). Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivar IAPAR-19 Pioneira. Características culinárias. *Arquitos de Biología e Tecnologia*, 33 (3), 511-525.
- Chaudry, M.A., Bibi, N., Khan, M., Khan, M., Badshah, A., y Qureshi, J. (2004). Irradiation treatment of minimally processed carrots for ensuring microbiological safety. *Radiation Physics and Chemistry*, 71 (1-2), 171-175.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (1977). Informe anual 1976. Cali, Colombia.
- Cisneros-Zevallos, L., Saltveit, M.E. y Krochta, J.M. (1995). Mechanism of surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. *Journal of Food Science*, 60 (2), 320-323.
- Cisneros-Zevallos, L., Saltveit, M.E. y Krochta, J.M. (1997). Hygroscopic coatings control surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. *Journal of Food Science*, 62 (2), 363-366.
- Cliffe-Byrnes, V. y O'Beirne, D. (2007). The effects of modified atmospheres, edible coatings and storage temperatures on the sensory quality of carrot

- slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 42 (11), 1338-1349.
- Cock, J.H. y Rosas, S.C. (1975). Ecophysiology of cassava. En: *International Symposium on Ecophysiology of Tropical Crops*. Manaus, Brasil. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 1-14.
- Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias (2007). Último acceso Diciembre 2009.
<http://www.gobiernodecanarias.org/agricultura/doc/otros/estadistica/resumen/r2007.pdf>
- Cooke, R., Rickard, J. y Thompson, A. (1988). The storage of tropical root and tuber crops cassava, yam and edible aroids. *Experimental Agriculture*. 24, 437-470.
- Correia, L.G., Da Costa, B. y Moldão-Martins, M. (2005). Extending shelf-life of minimally processed carrots. *Acta Horticulturae*, 682, 1937-1941.
- Cortés, D.F., Reilly, K., Breeching, J.R. y Tohme, J. (2002). Mapping wound-response genes involved in postharvest physiological deterioration (PPD) of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Euphytica*, 128 (1), 47-53.
- Cortes Generales de España. (2007). Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural. *Boletín Oficial del Estado BOE* nº 299, 51339-51349.
- Coursey, D.G. y Booth, R.H. (1971). Post-harvest losses in perishable tropical product. *Insectic 6th Fungic Conference Proceedings*, 3, 673-682.
- Cubas, C., Lobo, M.G. y González, M. (2006). Procesado mínimo de tubérculos: zanahoria, papa y yuca. En: *Comercialización, postcosecha, procesado mínimo de hortalizas producidas en canarias*. González, M. y Lobo, M.G. (Eds.). Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Tenerife, España, 121-135.
- Data, E.S., Quevedo, M.A. y Gloria, L.A. (1984). Pruning techniques affecting the root quality of cassava at harvest and subsequent storage. En: *Tropical Roots Crops: postharvest physiology and processing*. Uritani, J. y Reyes, E.D. (Eds.), Tokio, Japón, 127-143.

- Day, B.P.F (2001). Modified atmosphere packaging (MAP) of fresh fruits and vegetables-an overview. *Acta Horticulturae*, 553, 585-590.
- Del Águila, J.S., Sasaki, F.F., Heiffing, L.S., Ortega, E.M.M., Jacomino, A.P. y Kluge, R.A. (2006). Fresh-cut radish using different cut types and storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 40 (2), 149-154.
- Del Águila, J.S., Sasaki, F.F., Heiffing, L.S., Ortega, E.M.M., Jacomino, A.P. y Kluge, R.A. (2007). Alteração do metabolismo respiratório em rabanetes mínimamente processados. *Ciencia Rural*, 37 (2), 565-568.
- Delaquis, P.J., Stewart, S., Toivonen, P.M.A. y Moyls, A.L. (1999). Effect of warm, chlorinated water on microbial flora of shredded iceberg lettuce. *Food Research International*, 32 (1), 7-14.
- Delaquis, P.J., Fukumoto, L.R., Toivonen, P.M.A. y Cliff, M.A. (2004). Implications of wash chlorination and temperature for the microbiological and sensory properties of fresh-cut iceberg lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 31 (1), 81-91.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A. y Debevere, J. (2004). Chitosan: Antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21 (6), 703-714.
- Domínguez, C.E., Ceballos, L.F. y Fuentes, C. (1983). Morfología de la planta de yuca. En: *Yuca: investigación, producción y utilización*. Programa de yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 29-49.
- Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng, K. y Jiang, Y. (2004). Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. *Journal of Food Engineering*, 64 (3), 355-358.
- Dorantes-Álvarez, L. y Chiralt, A. (2000). Color of minimally processed fruits and vegetables as affected by some chemical and biochemical changes. En: *Minimally processed fruits and vegetables*. Alzamora, S.M., Tapia, M.A. y López-Malo, A. (Eds.). Aspen Publishers, Gaithersburg, EE.UU., 111-126.

- Durango, A.M., Soares, N.F.F. y Andrade, N.J. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*, 17 (5), 336-341.
- Duthie, G.G., Duthie, S.J. y Kyle, J.A.M. (2000). Plant polyphenols in cancer and heart disease: implications as nutritional antioxidants. *Nutrition Research Reviews*, 13, 79-106.
- Endo, E. Soares, N.F.F., Santos, D.A.A., Borges, S.V., Fontes, E.A.F. y Gonçalves, M.P.J. (2008). Uso de filmes ativos na conservação de batata mínimamente processada. *Ciencias Agrárias*, 29 (2), 349-360.
- Ernesto, M., Cardoso, P.A., Nicala, D., Mirione, E., Massaza, F., Cliff, J., Haque, M.R. y Bradbury, J.H. (2002). Persistent konzo and cyanogen toxicity from cassava in northern Mozambique. *Acta Tropica*, 82, 357-362.
- Erturk, E. y Picha, D.H. (2006). Microbiological quality of fresh-cut sweet potatoes. *International Journal of Food Science and Technology*, 41 (4), 366-374.
- Erturk, E. y Picha, D.H. (2007). Effect of temperature and packaging film on nutritional quality of fresh-cut sweet potatoes. *Journal of Food Quality*, 30 (4), 450-465.
- Erturk, E. y Picha, D.H. (2008). The effects of packaging film and storage temperature on the internal package atmosphere and fermentation enzyme activity of sweet potato slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32 (5), 817-838.
- FAO/WHO (1991). Joint FAO/WHO Foods Standards Programme. Codex Alimentarius Commission XII, Supplement nº4, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), World Health Organization, Roma, Italia.
- FAO (2007a). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. 163 p.
- FAO (2007b). Perspectivas alimentarias. Análisis de los mercados mundiales. Departamento Económico y Social. Último acceso Diciembre 2009.

<http://www.fao.org/docrep/010/ah864s/ah864s06.htm>

- FAO (2008). Datos agrícolas de la FAOSTAT. Producción. Cultivos primarios. En: Base de datos estadísticos de la FAO (FAOSTAT). Último acceso Diciembre 2009. <http://faostat.org>.
- Fernández, J.B., Valverde, E. y Sáenz, M.V. (1988). Resistencia al deterioro y conservación de raíces frescas de siete cultivares de yuca (*Manihot esculenta* C.) en condiciones de la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 12 (2), 199-207.
- Ferrerres, F., Gil, M.I., Castaner, M. y Tomás-Barberán, F.A. (1997). Phenolic metabolites in red pigmented lettuce (*Latuca sativa*) changes with minimal processing and cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45 (11), 4249-4254.
- Fialho, J.F., Vieira, E.A., Silva, M.S., Lacerda, J.N.C., Paula, G.F., Oliveira, L. Costa, M.S. y Dutra, N.J. (2007). Comportamento de variedades de mandioca de mesa em diferentes épocas de colheita em Brazlândia-DF. En: *XII Congresso Brasileiro de Mandioca*, Botucatu, Brasil, vol. 3.
- Fonseca, J.M. y Saborío, D. (2001). Análisis del deterioro vascular de yuca. En: *Tecnología postcosecha de yuca fresca parafinada (Manihot esculenta Crantz) para exportación en Costa Rica*. May, A.D., Mojica, F., Ruiz, J., Rodríguez, A., Calderón, A., Zúñiga, D. y Guzmán, G. (Eds.). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.
- Francis, G.A. y O'Beirne, D. (2002). Effects of vegetable type and antimicrobial dipping on survival and growth of *Listeria innocua* and *E. coli*. *International Journal of Food Science and Technology*, 37 (6), 711-718.
- Fukuda, W.M.G. y Borges, M.F. (1988). Avaliação qualitativa de cultivares de mandioca de mesa. *Revista Brasileira de Mandioca*, 7 (1), 63-71.
- Fukuda, W.M.G. y Borges, M.F. (1990). Influência da idade de colheita sobre a qualidade de raízes em diferentes cultivares de mandioca de mesa. *Brasileira de Mandioca*, 9 (1/2), 7-19.

- Gallego, E.M., Miguez, M., De la Montaña, J. (2006). Aptitud de variedades de patatas para su transformación en barritas prefritas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5 (3), 189-194.
- García, A.D. y Pacheco-Delahaye, E. (2007). Tecnología Postcosecha de la IV Gama en Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 33, 129-146.
- Garrote, R.L., Silva, E.R. y Bertone, R.A. (2000). Effect of thermal treatment on steam peeled potatoes. *Journal of Food Engineering*, 45 (2), 67-76.
- Garrote, R.L., Coutaz, V.R., Luna, J.A., Silva, E.R. y Bertone, R.A. (2006). Optimizing processing conditions for chemical peeling of potatoes using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 58 (4), 821-826.
- Gil, M.I., Ferreres, F. y Tomás-Barberán, F.A. (1999). Effects of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (6), 2213-2217.
- Gil, M.I. y Tudela, J.A. (2003). Proceso de elaboración de hortalizas de la IV Gama: Ejemplo práctico. En: *Productos hortofrutícolas mínimamente procesados*. Lobo, M.G. y González, M. (Eds.). Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Tenerife, España, 57-78.
- Gómez-López, V.M., Devlieghere, F., Ragaert, P. y Debevere, J. (2007). Shelf-life extensión of minimally processed carrots by gaseous chlorine dioxide. *International Journal of Food Microbiology*, 116 (2), 221-227.
- Gondwe, A.T.D. (1974). Studies on the hydrocyanic acid content of some local varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and some traditional cassava food products. *Journal of East Africa Agricultural Forest*, 40, 161-167.
- Gorny, J.R., Hess-Pierce y Kader, A.A. (2000). Quality changes in fresh-cut pears slices as affected by cultivar ripeness stage, fruit size and storage regime. *Journal of Food Science*, 65 (3), 541-544.

- Gorny, J.R. (2001). A summary of CA and MA recommendations for selected fresh cut fruits and vegetables. *Postharvest Horticulture Series*, 22, 95-145.
- Grizotto, R. y Menezes, H.C. (2003). Avaliação da aceitação de “chips” de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23, 79-86.
- Gunes, G. y Lee, C.Y. (1997). Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. *Journal of Food Science*, 62 (3), 572-575.
- Hagenmaier, R.D. y Baker, R.A. (1994). Wax microemulsions and emulsions as citrus coatings. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42 (4), 899-902.
- Hagenmaier, R.D. y Baker, R.A. (1998). Microbial population of shredded carrot in modified atmosphere packaging as related to irradiation treatment. *Journal of Food Science*, 63 (1), 162-164.
- Hasbún, J., Esquivel, P., Brenes, A. y Alfaro, I. (2009). Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agronomía Costarricense*, 33 (1), 77-89.
- Haverkort, A.J., van Loon, C.D., van Eijck, P., Scheer, F.P., Schijvens, E.P.H.M., Uitslag, H., Baarveld, H.R., Campobello, E.W.A., Liefrink, S.R. y Peeten, H.M.G. (2002). En el camino de la elaboración de la patata. NIVAA, Den Haag, Holanda, 24 p.
- Henrique C.M. y Evangelista, R.M. (2006). Processamento mínimo de cenouras orgânicas com uso de películas biodegradáveis. *Revista Publication UEPG Ciências Exatas e da Terra*, Ciências Agrárias e Engenharias, 12 (3), 7-14.
- Hirose, S., Data, E.S., Tanaka, Y. y Uritani, I. (1984a). Physiological deterioration and ethylene production in cassava roots after harvest in relation with pruning treatments. *Japanese Journal of Crop Science*, 53 (3), 282-289.
- Hirose, S., Data, E.S., Quevedo, M.A. y Uritani, I. (1984b). Relation between respiration and postharvest deterioration in cassava roots. *Japanese Journal of Crop Science*, 53 (2), 187-196.

- Hirose, S., Data, E.S. y Quevedo, M.A. (1986). Physiological studies on postharvest deterioration of cassava plants. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 19, 241-252.
- Hong, G., Peiser, G. y Cantwell, M.I. (2000). Use of controlled atmospheres and heat treatment to maintain quality of intact and minimally processed greens onions. *Postharvest Biology and Technology*, 20 (1), 53-61.
- Howard, L.R. y Griffin, L.E. (1993). Lignin formation and surface discoloration of minimally processed carrot sticks. *Journal of Food Science*, 58 (5), 1065-1072.
- Howard, L.R. y Dewi, T. (1996). Minimal processing and edible coating effects on composition and sensory quality of mini-peeled carrots. *Journal of Food Science*, 61 (3), 643-645.
- Huxsoll, C.C. y Bolin, H.R. (1989). Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 43 (2), 124-128.
- Iqbal, T., Rodrigues, F.A.S., Mahajan, P.V., Ferry, J.P., Gil, L., Manso, M.C. y Cunha, L.M. (2008). Effect of minimal processing conditions on respiration rate of carrots. *Journal of Food Science*, 73 (8), 396-402.
- IFPA. (1996). Food safety guidelines for the fresh-cut produce industry. 3ª Edn. *International Fresh-Cut Produce Association (IFPA)*, Alexandria, EE.UU.
- Iglesias, C., Bedoya, J., Morante, N. y Calle, F. (1996). Genetic diversity for physiological deterioration in cassava roots. En: *Tropical Tubers Crops: Problems, Prospects and Future Strategies*. Kurup, G.T., Palaniswami, M.S., Potty, V.P., Padmaja, G., Kabeerathumma, S. y Pillai, S.V. (Eds.). Oxford y IBH Publishing Co., Nueva Delhi, La India, 73-81.
- Isamah, G.K., Asagba, S.O. y Ekakitie, A.O. (2003). Lipid peroxidation, activities of superoxide dismutase and catalase during post-harvest deterioration of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root tubers. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 52 (3), 129-133.

- Izumi, H., Watada, A.E., Po, N.P. y Douglas, W. (1996). Controlled atmosphere storage of carrots slices, sticks and shreds. *Postharvest Biology and Technology*, 9 (2), 165-172.
- Izumi, H. (1999). Electrolyzed water as a disinfectant for fresh-cut vegetables. *Journal of Food Science*, 64 (3), 536-539.
- Jansen, W. y Wheatley, C.C. (1985). Urban cassava markets. The impact of fresh root storage. *Food Policy*, 10 (3), 265-277.
- Juneja, V.K., Martin, S.T. y Sapers, G.M. (1998). Control of *Listeria monocitogenes* in vacuum-packaged pre-peeled potatoes. *Journal of Food Science*, 63 (5), 911-914.
- Junqueira, M.S., Soares, N.F.F., Reis, R.C., Carneiro, J.D.S., Benicio, R.T. y Yokota, S.R.C. (2009). Efeito de embalagens ativas no escurecimento enzimático de batatas (*Solanum tuberosum*) fatiadas e mínimamente processadas. *Ciências Agrárias*, 30 (3), 613-618.
- Kaaber, L., Martinesen, B.K., Bräthen, E. y Shomer, H. (2002). Browning inhibition and textural changes of pre-peeled potatoes caused by anaerobic conditions. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 35 (6), 526-531.
- Kader, A.A., Zagory, D. y Kerbel, E.L. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28 (1), 1-30.
- Kamat, A.S., Ghadge, N., Ramamurthy, M.S. y Alur, M.D. (2005). Effect of low-dose irradiation on shelf life and microbiological safety of sliced carrot. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85 (13), 2213-2219.
- Kato, M.S.A. y Souza, S.M.C. (1987). Conservação de raízes após colheita. *Informe Agropecuário*, 13 (145), 9-14.
- Kato, M.S.A., Carvalho, V.D. y Correa, H. (1991). Efeitos da poda na deterioração fisiológica, atividade enzimática e nos compostos fenólicos em raízes de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26 (2), 237-245.

- Kato-Nouguchi, H. y Watada, A.E. (1997). Effects of low-oxygen atmosphere on ethanolic fermentation in fresh-cut carrots. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122 (1), 107-111.
- Kervinen, R., Luoma, T. y Ahvenainen R. (2001). The effect of peeling method and dipping treatment on the quality of pre-peeled potato. *Acta Horticulturae*, 553, 701-702.
- Kim, C., Hung, Y.C., Brackett, R.E. y Lin, C.S. (2003). Efficacy of electrolyzed oxidizing water in inactivating *Salmonella* on alfalfa seeds and sprouts. *Journal of Food Protection*, 66 (2), 208-214.
- Klaiber, R.G., Baur, S., Magel, L., Hammes, W.P. y Carle, R. (2004). Quality shredded, packaged carrots as affected by different washing treatment. *Journal of Food Science*, 69 (4), SNQ161-SNQ166.
- Klaiber, R.G., Baur, S., Wolf, G., Hammes, W.P. y Carle, R. (2005). Quality of minimally processed carrots as affected by warm water washing and chlorination. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 6, 351-362.
- Kluge, R.A., Costa, C.A., Vitti, M.C.A., Ongarelli, M.G., Jacomino, A.P. y Moretti, C.L. (2006). Armazenamento refrigerado de beterrada mínimamente processada em diferentes tipos de corte. *Ciência Rural*, 36 (1), 263-270.
- Kluge, R.A., Vitti, M.C.D., Sasaki, F.F., Jacomino, A.P. y Moretti, C.L. (2008). Respiratory activity and pigment metabolism in fresh-cut beet roots treated with acid citric. *Horticultura Brasileira*, 26 (4), 520-523.
- Knekt, P., Isotupa, I., Rissanen, H., Heliövaara, M., Järvinen, R., Häkkinen, S., Aromaa, A. y Reunanen, A. (2000). Quercetin intake and the incidence of cerebrovascular disease. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54 (5), 415-417.
- Korich, D.G., Mead, J.R., Madore, M.S., Sinclair, N.A. y Sterling, C.R. (1990). Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine and monochloramine on

- Cryptosporidium parvum* oocys viability. *Applied Environmental Microbiology*, 56, 1423-1428.
- Lafortune, R., Caillet, S. y Lacroix, M. (2005). Combined effects of coating, modified atmosphere packaging and gamma irradiation on quality maintenance of ready-to-use carrots (*Daucus carota*). *Journal of Food Protection*, 68 (2), 353-359.
- Lafuente, M.T., López-Gálvez, G., Cantwell, M. y Fa Yang, S. (1996). Factors influencing ethylene-induced isocoumarin formation and increased respiration in carrots. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121 (3), 537-542.
- Lamikanra, O., Chen, J.C., Banks, D. y Hunter, P.A. (2000). Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed cantaloupe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (12), 5955-5961.
- Laurila, E., Kervinen, R. y Ahvenainen, R. (1998). The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. *Postharvest News and Information*, 9 (4), 53-66.
- Lavelli, V., Pagliarini, E., Ambrosoli, R., Minati, J.L. y Zanoni, B. (2006). Physiochemical, microbial and sensory parameters as indices to evaluate the quality of minimally-processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 40 (1), 34-40.
- Lee, J.Y., Park, H.J., Lee, C.Y. y Choi, W.Y. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie*, 36 (3), 323-329.
- Le Marchand, L., Murphy, S.P., Hankin, J.H., Wilkens, L.R. y Kolonel, L.N. (2000). Intake of flavonoids and lung cancer. *Journal of National Cancer Institute*, 92 (2), 154-160.
- Li, P. y Barth, M. (1998). Impact of edible coatings on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 14 (1), 51-60.

- Lima, K.S.C., Lima, A.L.S., Luchese, R.H., Godoy, R.L.O. y Sabaa-Srur, A.U.O. (2003). Cenouras mínimamente processadas em embalagens com atmosferas modificadas e tratadas com radiação gama: avaliação microbiológica, físico-química e química. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23 (2), 240-250.
- Limbo, S. y Piergiovanni, L. (2006). Shelf life of minimally processed potatoes. Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest Biology and Technology*, 39 (3), 254-264.
- Lobo, M.G. y González, M. (2003). Condiciones durante el almacenamiento, transporte y distribución de los productos hortofrutícolas de la IV Gama. En: *Productos hortofrutícolas mínimamente procesados*. Lobo, M.G. y González, M. (Eds.). Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Tenerife, España, 125-134.
- Lobo, M.G. y González, M. (2005). Técnicas de procesamiento. En: *Nuevas Tecnologías de Conservación de productos vegetales frescos cortados*. González-Aguilar, G.A., Gardea, A.A. y Cuamea-Navarro, F. (Eds.). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Sonora, México, 97-115.
- López-Gálvez, G., Salveit, M.E. y Cantwell, M. (1996). The visual quality of minimally processed lettuce stored in air and controlled atmospheres with emphasis on romaine and iceberg types. *Postharvest Biology and Technology*, 8, 179-190.
- López-Osorio, M.M. y Chaves, A.R. (1997). Enhancement of shelf life of grated beetroots. *Journal of Food Protection*, 60 (10), 1230-1234.
- Lozano, J.C., Toro, J.C., Castro, A. y Bellotti, A.C. (1977). Production of cassava planting material. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Cali, Colombia, 28 p.

- Lozano, J.C., Cock, J.H. y Castano, J. (1978). New developments in cassava storage. En: *Proceedings of the cassava protection workshop held at CIAT*. Brekelbaum, T., Belloti, A. y Lozano, J.C. (Eds.). Cali, Colombia, 135-141.
- Lund, D.G., Puschmann, R. y Sediayama, T. (2000). Escurecimento de mandioca mínimamente processada e embalada sob vácuo. En: *Encontro Nacional sobre processamento mínimo de frutas e hortaliças*, Visçosa, Brasil.
- Lund, D.G., Petrini, L.A., Zaicovski, C.B., Aleixo, J.A.G. y Rombaldi, C.V. (2004). Contagem de bactérias lácticas e aumento da acidez em mandioca mínimamente processada. En: *XIII Congresso de Iniciação Científica, VI- Encontro de Pós-Graduação*, Pelotas-RS, Brasil.
- Lund, D.G., Petrini, L.A., Aleixo, J.A.G. y Rombaldi, C.V. (2005a). Uso de sanitizantes na redução da carga microbiana de mandioca mínimamente processada. *Ciência Rural*, 35 (6), 1431-1435.
- Lund, D.G., Petrini, L.A., Zaicovski, C.B., Malgarim, M.B. y Rombaldi, C.V. (2005b). Aceitabilidade quanto a aparência visual de mandioca mínimamente processada refrigerada. En: *IV Congresso Ibero-Americano de Tecnologia Pós-Colheita e Agroexportação*, Porto Alegre-RS, Brasil.
- Lund, D.G., Zaicovski, C.B., Machado, L.P., Da Conceição, R.C.S., Alexio, J.A.G. y Rombaldi, C.V. (2007). Qualidade microbiana e aspecto visual de mandioca mínimamente processada. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 29 (2), 213-216.
- Machin, A.J. y Hardisson, F.R. (2002). El cultivo de la batata en Jable en Lanzarote. *Revista Agropecuaria*, 71 (3), 604-605.
- Marriot, J., Been, B.O. y Perkins, C. (1978). The aetiology of vascular discoloration in cassava roots after harvesting: association with water loss from wounds. *Physiologia Plantarum*, 44 (1), 38-42.
- Marriot, J., Been, B.O. y Perkins, C. (1979). The aetiology of vascular discoloration in cassava roots after harvesting: development of endogenous resistance in stored roots. *Physiologia Plantarum*, 45 (1), 51-56.

- Martin-Diana, A.B., Rico, D., Barry-Ryan, C., Frías, J., Mulcahy, L. y Henahan, G.T.M. (2005). Comparison of calcium lactate with chlorine as a washing treatment for fresh-cut lettuce and carrots: quality and nutritional parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85 (13), 2260-2268.
- Martin-Diana, A.B., Rico, D., Frías, J., Mulcahy, L. Henahan, G.T.M. y Barry-Ryan, C. (2006). Whey permeate as a bio-preservative for shelf life maintenance of fresh-cut vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7, 112-123.
- Matilla, M., Ahvenainen, R., Hurme, E. y Hyvönen, L. (1995). Respiration rates of some minimally processed vegetables. En: *Proceedings on Systems and operations for Postharvest COST 94 "Postharvest Treatment of Fruits and Vegetables"*. De Baerdemaeker, J., Mc Kenna, B., Janssens, M., Thompson, A., Artés-Calero, F., Höhn, E. y Somogyi, Z. (Eds.). Commission of the European Communities, Bruselas, Bélgica, 135-145.
- McConnell, R.Y., Truong, V.D., Walter Jr, W.M. y McFeeters, R.F. (2005). Physical, chemical and microbial changes in shredded sweet potatoes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29, 246-267.
- Mei, Y., Zhao, J., Yang, J. y Furr, H.C. (2002). Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Journal of Food Science*, 67 (5), 1964-1968.
- Mercado-Silva, E. y Aquino-Bolaños, E.N. (2005). Enzimas involucradas en el deterioro. En: *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. González-Aguilar, G.A., Gardea, AA. y Cuamea-Navarro, F. (Eds.). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Sonora, México, 177-214.
- Molnar-Perl, I.P. y Friedman, M. (1990). Inhibition of browning by sulphur amino acids in apples and potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38 (8), 1652-1656.

- Mondy, N.I. y Mushi, C.B. (1993). Effect of type of potassium fertilizer on enzymatic discoloration and phenolic, ascorbic acid and lipid contents of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41 (6), 849-852.
- Montaldo, A. (1973). Vascular streaking of cassava roots tubers. *Tropical Science*, 15 (1), 39-46.
- Montaldo, A. (1985). La yuca o mandioca: cultivo, industrialización, aspectos económicos, empleo en la alimentación animal, mejoramiento. IICA. San José, Costa Rica, 386 p.
- Moretti, C.L., Araújo, A.L., Marouelli, W.A. y Silva, W.L.C. (2002). Respiratory activity and browning of minimally processed sweetpotatoes. *Horticultura Brasileira*, 20 (3), 497-500.
- Moretti, C.L., Mattos, L.M., Machado, C.M.M. y Kluge, R.A. (2007). Physiological and quality attributes associated with different centrifugation times of baby carrots. *Horticultura Brasileira*, 25 (4), 557-561.
- Nguyen-The, C. y Carlin, F. (1994). The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Food Research International*, 34, 341-401.
- Nicoli, M.C., Anese, M. y Severini, C. (1994). Combined effects in preventing enzymatic browning reactions in minimally processed fruit. *Journal of Food Quality*, 17 (3), 221- 229.
- Noon, R.A. y Booth, R.H. (1977). Nature of postharvest deterioration of cassava roots. *Transactions of the British Mycological Society*, 69, 287-290.
- Nourian, F., Ramaswamy, H.S. y Kushalappa, A.C. (2003). Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 36, 49-65.
- Obilie, E.M., Tano-Debrah, K. y Amoa-Awua, W.K. (2004). Souring and breakdown of cyanogenic glucosides during the processing of cassava into akyeke. *International Journal of Food Microbiology*, 93 (1), 115-121.

- Oboh, G. y Akindahunsi, A.A. (2003). Biochemical changes in cassava products (flour and gari) subjected to *Saccharomyces cerevisiae* solid media fermentation. *Food Chemistry*, 82 (4), 599-602.
- Oliveira, M.A., Pantaroto, S. y Cereda, M.P. (2003). Efeito da sanitização e de agente antioxidante em raízes de mandioca mínimamente processadas. *Brazilian Journal of Food and Technology*, 6 (2), 339-344.
- Oliveira, M.A. y Moraes, P.S.B. (2009a). Avaliação das características físico-químicas e da produtividade da mandioca cultivar IAC-576-70 em diferentes épocas de colheita. En: *XIII Congresso Brasileiro de Mandioca*, Botucatu, Brasil, 821-825.
- Oliveira, M.A. y Moraes, P.S.B. (2009b). Influência da época de colheita e da precipitação pluviométrica sobre as características associadas ao cozimento da mandioca cultivar IAC-576-70. En: *XIII Congresso Brasileiro de Mandioca*, Botucatu, Brasil, 920-924.
- Oliveira, L.A., Viana, E.S., Silva, J. y Amorim, T.S. (2009c). Qualidade físico-química, microbiológica e culinária de mandioca dourada orgânica mínimamente processada. En: *XIII Congresso Brasileiro de Mandioca*, Botucatu, Brasil, 952-56.
- Olsen, K.M. y Schaal, B.A. (2001). Microsatellite variation in cassava (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) and its wild relatives: further evidence for a southern Amazonian origin of domestication. *American Journal of Botany*, 88, 131-142.
- Onabolu, A.O., Oluwole, O.S.A. y Bokanga, M. (2002). Loss of residual cyanogens in a cassava food during short-term storage. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53 (4), 343-349.
- Orsat, V., Gariépy, Y., Raghavan, G.S.V. y Lyew, D. (2001). Radio-frequency treatment for ready-to-eat fresh carrots. *Food Research International*, 34 (6), 527-536.

- Padda, M.S. y Picha, D.H. (2008). Effect of style of cut and storage on phenolic composition and antioxidant activity of fresh-cut sweetpotatoes. *Hortscience*, 43 (2), 431-434.
- Padmaja, G. (1995). Cyanide detoxification in cassava for food and feed uses. *Critical Review of Food Nutrition*, 35 (4), 299-399.
- Paranaíba, J.L.V., De Resende-Chagas, S.J. y Costa, L. (1996). Efeitos da poda e do uso de embalagens na conservação de raízes de mandioca durante o armazenamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31 (4), 269-276.
- Parr, A.J. y Bolwell, G.P. (2000). Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (7), 985-1012.
- Paull, R.E. y Chen, W. (1997). Minimally processing of papaya (*Carica papaya* L.) and the physiology of halved fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 12 (1), 93-99.
- Pavlista, A.D. y Ojala, J.C. (1997). Potatoes: chip and french fry processing. En: *Processing Vegetables: Science and Technology*. Smith, D.S., Cash, J.N., Nip, W.K. y Hui, Y.H. (Eds.). Technomic Publishers, Lancaster, EE.UU., 237-284.
- Pereira, J.F. (1977). Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Trabajo final de carrera. Universidad de Oriente de Venezuela, Escuela de Ingeniería Agronómica, Jusepin, Monagas, Venezuela, 123 p.
- Pereira, J.M.A.T.K., Minim, V.P.R. y Chaves, J.B.P. (2007). Avaliação sensorial e instrumental do esbranquiçamento superficial de mini-cenoura durante o armazenamento. *Alimentação e Nutrição*, Araraquara, 18 (3), 261-266.
- Pereira, J.M.A.T.K., Minim, V.P.R., Chaves, J.B.P. y Yahashita, F. (2008). Efeito do revestimento na aceitabilidade de mini-cenouras. *Semina: Ciências Agrárias*, 29 (3), 591-596.
- Petri, E., Arroqui, C., Angós, I. y Vírveda, P. (2008). Effect of preservative agents on the respiration rate of minimally processed potato (*Solanum*

- tuberosum* cv. Monalisa). *Food Chemistry*, 73 (3), 122-126.
- Pilon, L., Oetterer, M., Gallo, C.R. y Spoto, M.H.F. (2006). Shelf life of minimally processed carrot and green pepper. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26 (1), 150-158.
- Pineli, L.L.O., Moretti, C.L., Almeida, G.C., Nascimento, A.B.G. y Onuki, A.C.A. (2005a). Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas “Ágata” mínimamente processadas. *Horticultura Brasileira*, 23 (4), 993-999.
- Pineli, L.L.O., Moretti, C.L., Almeida, G.C., Onuki, A.C.A. y Nascimento, A.B.G. (2005b). Caracterização química e física de batatas “Ágata” mínimamente processadas embaladas sob diferentes atmosferas modificadas ativas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40 (10), 1035-1041.
- Pineli, L.L.O., Moretti, C.L., Almeida, G.C., Santos, J.Z., Onuki, A.C.A. y Nascimento, A.B.G. (2006). Caracterização química e física de batatas “Ágata” e “Monalisa” mínimamente procesadas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26 (1), 127-134.
- Plumbly, R.A., Hughes, P.A. y Marriott, J. (1981). Studies on peroxidases and vascular discoloration in cassava roots tissues. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32 (7), 723-731.
- Plumbly, R.A. y Rickard, J.E. (1991). Postharvest deterioration of cassava. *Tropical Science*, 31 (3), 295-303.
- Purvis, A.C. (1997). The role of adaptive enzymes in carbohydrates oxidation by stressed and senescing plant tissues. *Hortscience*, 32 (7), 1165-1168.
- Puschmann, R., Simões, A.D.O.N., Moreira, S.I., Soares, N.F.F., Carnelossi, M.A.G. y Gil, M.I. (2007). Calidad y actividad de la fenilalanina amonioliasa (PAL) en minizanáhoría con recubrimiento comestible antimicrobiano. En: *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha y Grupo Postrecolección y Refrigeración de la UPCT, Murcia, España, 616 p.

- Quintero, F. (1984). Comportamiento de dos cultivares de yuca en cinco épocas de cosecha. En: *Avances en las Investigaciones en los Cultivos de Raíces y Tubérculos Tropicales en Venezuela*. Montaldo, A. (Ed.). Facultad Agronómicas, Maracay, Venezuela, 33, 101-109.
- Real Decreto 3484/2000, de 29 de diciembre, por el que se establecen las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. *Boletín Oficial del Estado*, BOE nº 11, 1435-1441.
- Real Decreto 1118/2007, de 24 de agosto, por el que se modifica el Real Decreto 142/2002, de 1 de febrero, por el que se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes para su uso en la elaboración de alimenticios, así como sus condiciones de utilización. *Boletín Oficial del Estado*, BOE nº 221, 37533-37544.
- Reilly, K., Gómez-Vázquez, R., Buschmann, H., Tohme, J. y Beeching, J.R. (2003). Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. *Plant Molecular Biology*, 53 (5), 669-685.
- Reina, C.E., Barreto-Otalora, C.A. y López-Dussan, D.M. (1996). Manejo postcosecha y evaluación de la calidad para la yuca (*Manihot esculenta*) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Trabajo final de carrera. Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería Agrícola, Neiva, Colombia.
- Resende, J.M., Coelho, A.F.S., Castro, E.C., Saggin Júnior, O.J., Nascimento, T. Benedetti, B.C. (2004). Modificações sensoriais em cenoura mínimamente processada e armazenada sob refrigeração. *Horticultura Brasileira*, 22 (1), 147-150.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. y Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20 (7), 933-956.
- Rickard, J.E. (1982). Investigation into postharvest behavior of cassava roots and their response to wounding. Tesis Doctoral. Universidad de Londres, Londres, Reino Unido, 161 p.

- Rickard, J.E. (1985). Physiological deterioration of cassava roots. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36 (3), 167-176.
- Rico, D., Martín-Diana, A.B., Frías, J.M., Barat, J.M., Henehan, G.T.M. y Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-use carrots. *Journal of Food Engineering*, 79 (4), 1196-1206.
- Rocculi, P., Galindo, F.G., Mendoza, F., Wadso, L., Romani, S., Rosa, M.D. y Sjöholm, I. (2007). Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 43 (1), 151-157.
- Rocha, A., Mota, C. y Morais, A. (2005). Effects of minimal processing and temperature on respiration rate of carrot (cv. "Nantes"). *Acta Horticulturae*, 682 (3), 1967-1970.
- Rocha, A.M.C.N., Brochado, C.M. y Morais, A.M.M.B. (1998). Influence of chemical treatments on quality of cut apple (cv. Jonagored). *Journal of Food Quality*, 21 (1), 13-18.
- Rocha, A.M.C.N., Ferreira, J.F.F.C., Silva, A.M.M., Almeida, G.N. y Morais, A.M.M.B. (2007). Quality of grated carrot (var. Nantes) packed under vacuum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87 (3), 447-451.
- Rodríguez-Saona, L.E. y Wrolstad, R.E. (1997). Influence of potato composition on chip color quality. *American Journal of Potato Research*, 74 (2), 87-106.
- Ruiz-Cruz, S., Luo, Y., González, R.J., Tao, Y. y González, G.A. (2006). Acidified sodium chlorite as an alternative to chlorine to control microbial growth on shredded carrots while maintaining quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86 (12), 1887-1893.
- Ruiz-Cruz, S., Islas-Osuna, M.A., Sotelo-Mundo, R.R., Vázquez-Ortiz, F. y González-Aguilar, G.A. (2007a). Sanitation procedure affects biochemical and nutritional changes of shredded carrots. *Journal of Food Science*, 72 (2), S146-S152.

- Ruiz-Cruz, S., Acedo-Félix, E., Díaz-Cinco, M., Islas-Osuna, M.A. y González-Aguilar, G.A. (2007b). Efficacy of sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella spp.* y *Listeria monocytogenes* populations on fresh-cut carrots. *Food Control*, 18, 1383-1390.
- Salveit, M.E. (1997). Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. En: *Phytochemistry of fruits and vegetables*. Tomás-Barberán, F.A. y Robins, R.J. (Eds.). Oxford Science Publications, Oxford, Reino Unido, 205-220.
- Salveit, M.E. (2003). Fresh-cut vegetables. En: *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. Bartz, J.A. y Brecht, J.K. (Eds.), vol. 22. Marcel Dekker, Nueva York, EE.UU., 691-712.
- Sánchez, N.F. y Hernández, I. (1997). Lye peeling of tanniers (*Xanthosoma spp.*). *Journal of Agriculture of Puerto Rico*, 61, 335-353.
- Sánchez, T. y Alonso, L. (2002). Conservación y acondicionamiento de las raíces frescas. En: *La Yuca en el tercer milenio*. Ceballos, H. y Ospina, B. (Eds.). CIAT, Cali, Colombia, 503-526.
- Sánchez, T. (2004). Evaluación de 6000 variedades de yuca. Programa de mejoramiento de yuca (CIAT), Cali, Colombia.
- Sapers, G.M., Garzarella, L. y Pilizota, V. (1990). Application of browning inhibitors to cut apple and potato by vacuum and pressure infiltration. *Journal of Food Science*, 55 (4), 1049-1053.
- Sapers, G.M. y Miller, R.L. (1993). Control by sulphites, antioxidants and others means. *Food Technology*, 47 (10), 75-84.
- Sapers, G.M. y Simmons, G.F. (1998). Hydrogen peroxide disinfection of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 52 (2), 48-52.
- Sapers, G.M. y Miller, R.L. (2006). Enzymatic browning control in potato with ascorbic acid-2-phosphates. *Journal of Food Science*, 57 (5), 1132-1135
- Schlimme, D.V. y Rooney, M.L. (1994). Packaging of minimally processed fruits and vegetables. En: *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Wiley, R.C. (Ed.). Chapman and Hall, Nueva York, EE.UU.,

135-182.

- Segura, A., Saborío, D. y Vinicio Sáenz, M. (2003). Algunas normas de calidad en raíces y tubérculos tropicales de exportación de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 27 (1), 49-61.
- Selma, M.V., Allende, A., López-Gálvez, F., Conesa, M.A. y Gil, M.I. (2008). Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for fresh-cut vegetable industry. *Food Microbiology*, 25 (6), 809-814.
- Severini, C., Baiano, A., Pilli, T., Romaniello, R. y Derissu, A. (2003a). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *LWT-Food Science and Technology*, 36 (7), 657-665.
- Severini, C., Baiano, A. y Pilli, T. (2003b). Microwave blanching of cubed potatoes. *Journal of Food Processing Preservation*, 27, 475-491.
- Severini, C., Baiano, A., Nobile, M.A., Mocci, G. y Pilli, T. (2004). Effects of blanching on firmness of sliced potatoes. *Italian Journal of Food Science*, 1 (16), 1-14.
- Silva, V.V., Soares, N.F.F. y Geraldine, R.M. (2003). Efeito da embalagem e temperatura de estocagem na conservação de mandioca mínimamente processada. *Brazilian Journal of Food Technology*, 6 (2), 197-202.
- Simões, A.N. (2008). Caracterização anatômico-fisiológica e conservação de cenoura mínimamente processada. Tesis Doctoral. Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 37-68.
- Simões, A.N., Tudela, J.A., Allende, A., Puschmann, R. y Gil, M.I. (2009). Edible coatings containing chitosan and moderate modified atmospheres maintain quality and enhance phytochemicals of carrot sticks. *Postharvest Biology and Technology*, 51 (3), 364-370.
- Simons, L.K. y Sanguansri, P. (1997). Advances in the washing of minimally processed vegetables. *Food Australia*, 49 (2), 75-80.
- Sivan, P. (1979). Postharvest durability of fresh root of cassava varieties in Fiji and storage of roots in moist sawdust. *Fiji Agricultural Journal*, 41 (3), 95-102.

- Smith, O. (1987). Transport and storage of potatoes. En: *Potato Processing*. Talburt, W.F. y Smith, O. (Eds.). Avi, Nueva York, EE.UU., 203-286.
- Smith, O. y Huxsoll, C.C. (1987). Peeling potatoes for Processing. En: *Potato Processing*. Talburt, W.F. y Smith, O. (Eds.). Avi, Nueva York, EE.UU., 333-370.
- Somsen, D., Capelle, A. y Tramper, J. (2004). Manufacturing of par-fried French-fries. Part 2: Modelling yield efficiency of peeling. *Journal of Food Engineering*, 61, 199-207.
- Spagnol, W.A., Park, K.J. y Sigrist, J.M.M. (2006). Taxa de respiração de cenouras mínimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 26 (3), 550-554.
- Spencer, K. (1999). Fresh-cut produce-applications of noble gases. En: *Proceedings of International Conference on Fresh-cut Produce*. Chipping Campdem y Chorleywood Food Research Association. Chipping Campdem, Glos, Reino Unido.
- Surjadinata, B.B. y Cisneros-Zevallos, L. (2003). Modelling wound-induced respiration of fresh-cut carrots (*Daucus carota* L.). *Food Engineering and Physical Properties*, 68 (9), 2735-2740.
- Sy, K.V., Murray, M.B., Harrison, M.D. y Beuchat, L.R. (2005). Evaluation of gaseous chlorine dioxide as sanitizer for killing *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* and yeasts and molds on fresh cut produce. *Journal of Food Protection*, 68 (6), 1176-1187.
- Szabo, E.A., Scurrah, K.J. y Burrows, J.M. (2000). Survey for psychotropic bacterial pathogens in minimally processed lettuce. *Letters in Applied Microbiology*, 30, 456-460.
- Tay, S.L. y Perera, C.O. (2004). Effect of 1-methylcyclopropene treatment and edible coatings on the quality of minimally processed lettuce. *Food and Chemical Toxicology*, 69 (2), 131-135.

- Thomson, J.F. y Suslow, T. (1996). Temperature Management I: cooling, storage and distribution. En: *Fresh Cut Products: Maintaining Quality and Safety*. University of California, Oakland, EE.UU.
- Tudela, J.A., Espín, J.C. y Gil, M.I. (2002a). Vitamin C retention in fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 26 (1), 75-84.
- Tudela, J.A., Cantos, E., Espín, J.C., Tomás-Barberán, F.A. y Gil, M.I. (2002b). Induction of antioxidant flavonol biosynthesis in fresh-cut potatoes. Effect of domestic cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (21), 5925-5931.
- Tudela, J.A., Hernández, J.A., Gil, M.I. y Espín, J.C. (2003). L-galactono- γ -lactone dehydrogenase activity and vitamin C content in fresh-cut potatoes stored under controlled atmospheres. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (15), 4296-4302.
- Uquiche-Carrasco E., Villarroel-Tudesca, M. y Cisneros-Zevallos, L. (2002). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad sensorial de pimentones verdes (*Capsicum annuum* L.) durante el almacenamiento. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52, 84-90.
- Uritani, I., Data, E.S., Villegas, R.I. y Flores, P. (1984). Changes in secondary metabolism in cassava roots, in relation to physiological deterioration. En: *Tropical roots: postharvest physiology and processing*. Uritani, I. y Reyes, E.D. (Eds.). Scientific Societies Press, Tokyo, Japón, 109-118.
- Vandekinderen, I., Devlieghere, F., De Meulenaer, B., Veramme, K., Ragaert, P. y Van Camp, J. (2008). Impact of decontamination agents and a packaging delay on the respiration rate of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, 49 (2), 277-282.
- Vanetti, M.C.D. (2000). Controle microbiológico e higiene no processamento mínimo. En: *Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças*, 2, Viçosa. Palestras. Viçosa, Brasil, UFV, 44-52.
- Varoquaux, P. y Wiley, R. (1994). Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. En: *Minimally*

- processed refrigerated fruits and vegetables*. Wiley, R.C. (Eds.). Chapman and Hall, Nueva York, EE.UU., 226-268.
- Vásquez-Martínez, R.A. y León-Velarde, C.U. (2006). Producción y uso de la batata (*Ipomoea batata*, Lam), estrategias para la alimentación animal-batata forrajera. Instituto Superior de Agricultura, ISA, Santiago de los Caballeros, República Dominicana.
- Vieira, J.V., Silva, J.B.C., Charchar, J.M., Resende, E.V., Fonseca, M.E.N., Carvalho, A.M. y Machado, C.M.M. (2005). Esplanada: cultivar de cenoura de verão para fins processamento. *Horticultura Brasileira*, 23 (3), 851-852.
- Villalobos - Carvajal, R., Hernández-Muñoz, P., Albors, A. y Chiralt, A. (2009). Barrier and optical properties of edible hydroxypropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices. *Food Hydrocolloids*, 23, 526-535.
- Vilpoux, O. (2003). Processamento de raízes e tubérculos tropicais para produção de chips. En: *Tecnología, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas*. Cereda, M.P. y Vilpoux, O. (Eds.). São Paulo, Brasil, 3, 110-131.
- Vilpoux, O. y Cereda, M.P. (2003). Processamento de raízes e tubérculos para uso culinário: mínimamente processadas, vácuo, pré-cozidas congeladas e fritas (*french-fries*). En: *Tecnología, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas*. Cereda, M.P. y Vilpoux, O. (Eds.). São Paulo, Brasil, 3, 81-109.
- Vitti, M.C.D., Kluge, R.A., Yamamoto, L.K. y Jacomino, A.P. (2003). Comportamento da beterrada mínimamente processada em diferentes espessuras de corte. *Horticultura Brasileira*, 21 (4), 623-626.
- Vitti, M.C.D., Kluge, R.A., Gallo, C.R., Shiavinato, M.A., Moretti, C.L. y Jacomino, A.P. (2004a). Efeito do momento de sanitização sobre atributos físico-químicos e microbiológicos de beterradas mínimamente processadas. *Horticultura Brasileira*, 22 (4), 718-721.

- Vitti, M.C.D., Kluge, R.A., Gallo, C.R., Shiavinato, M.A., Moretti, C.L. y Jacomino, A.P. (2004b). Aspectos fisiológicos y microbiológicos de beterradas mínimamente procesadas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39 (10), 1027-1032.
- Vitti, M.C.D., Yamamoto, L.K., Sasaki, F.F., Del Aguila, J.S., Kluge, R.A. y Jacomino, A.P. (2005). Quality of minimally processed beet roots stored in different temperatures. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48 (4), 503-510.
- Vries, C.A. (1985). Optimum harvest time of cassava (*Manihot esculenta*). *Abstracts of Tropical Agriculture*, 10, 1-9.
- Waimaleongora-Ek, P., Corredor, A.J.H., No, H.K., Prinyawiwatkul, W., King, J.M., Janes, M.E. y Sathivel, S. (2008). Selected quality characteristics of fresh-cut sweet potatoes coated with chitosan during 17-day refrigerated storage. *Journal of Food Science*, 73 (8), 418-423.
- Watada, A.E., Ko, N. y Minott, D. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, 9 (2), 115-125.
- Wenham, J.E. (1995). Post-harvest deterioration of cassava. A biotechnology perspective. *FAO Plant Production and Protection Paper 130*. Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Natural Resources Institute, Roma, Italia. 82 p.
- Wheatley, C.C. (1982). Studies on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots, post-harvest physiological deterioration. Tesis Doctoral. Universidad de Londres, Londres, Reino Unido, 246 p.
- Wheatley, C.C. (1983). Almacenamiento de raíces frescas de yuca. Guía de Estudio. CIAT, Cali, Colombia, 35 p.
- Wheatley, C.C. y Gómez, G. (1985). Evaluation of some quality characteristics in cassava storage roots. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, 35 (2), 121-129.

- Wheatley, C.C., Lozano, C. y Gómez, C. (1985). Postharvest deterioration of cassava roots. En: *Cassava. Research, Production and Utilization*. Cock, J.H. y Reyes, J.A. (Eds.). UNDPP-CIAT, Cali, Colombia, 655-671.
- Wheatley, C.C. y Schwabe, W.W. (1985). Scopoletin involvement in postharvest physiological deterioration of cassava root (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Experimental Botany*, 36, 783-791.
- Wheatley, C.C. (1987). Conservación de raíces de yuca en bolsas de polietileno. CIAT, Cali, Colombia, 33 p.
- Whitaker, J.R. y Lee, C.Y. (1995). Recent advances in chemistry of enzymatic browning. En: *Enzymatic browning and its prevention ACS Symposium Series 600*. Lee, C.Y. y Whitaker, J.R. (Eds.). American Chemical Society, Washington, EE.UU., 2-7.
- Wiley, R.C. (1997). Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Acibia, Zaragoza, España, 372 p.
- Yildiz, F. (1994). Initial preparation, handling and distribution of minimally processed refrigerated fruits and vegetables. En: *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Willey, R.C. (Ed.). Chappman and Hall, Nueva York, EE.UU., 15-65.
- Zaninovic, V. (2003). Posible asociación de algunas enfermedades neurológicas con el consumo excesivo de la yuca mal procesada y de otros vegetales neurotóxicos. *Colombia Médica*, 34 (2), 82-91.
- Zapata, G. (2001). Disminución del deterioro fisiológico postcosecha de raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) mediante almacenamiento controlado. Tesis Doctoral. Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia.

Anexo I: Optimización de la determinación de la actividad peroxidasa y polifenoloxidasa en yuca

1. Introducción

Uno de los principales factores que limita la vida útil de los productos mínimamente procesados es el desarrollo de pardeamiento enzimático que conduce a alteraciones sensoriales tales como cambios de color, mal olor y mal sabor (Sapers, 1993; Nicolas *et al.*, 1994). El color es uno de los primeros atributos empleados por los consumidores como criterio de evaluación de la calidad del producto. El proceso de pardeamiento se desencadena cuando, tras la operación de corte, se produce la descompartimentalización celular favoreciéndose el contacto de enzimas y sustratos. Es catalizado principalmente por la enzima polifenoloxidasa. Al entrar en contacto la enzima polifenoloxidasa con los sustratos (fenoles) se producen unos metabolitos primarios (quinonas) que son muy inestables y que tras sucesivas reacciones de oxidación y polimeración forman las melaninas, pigmentos que proporcionan generalmente una coloración café al producto. En ocasiones dichas coloraciones pueden ser rosadas, rojizas, azuladas o negras (Robards *et al.*, 1999). Para que el fenómeno tenga lugar se requiere por tanto la presencia de: oxígeno molecular, sustratos adecuados, la enzima polifenoloxidasa y la presencia de cobre en el centro activo de la enzima. Así dichos factores determinan la velocidad de pardeamiento (Laurila *et al.*, 1998), que dependerá de la concentración y actividad de la enzima, la cantidad y naturaleza de los compuestos fenólicos, el pH, la temperatura, la actividad del agua y de la cantidad de oxígeno disponible en el entorno del tejido vegetal (Vamos-Vigyazo, 1981; Mayer, 1987; Prince, 1992; Amiot *et al.*, 1995). Otros factores intrínsecos que influyen en la intensidad del pardeamiento son: la especie, la variedad y el estado fisiológico de los frutos (Amiot *et al.*, 1992). Las enzimas involucradas en el pardeamiento enzimático pertenecen, según la Comisión para la Nomenclatura Enzimática, al grupo 1 o grupo de las oxidorreductasas,

constituido por deshidrogenasas, reductasas, oxidasas, transhidrogenasas, peroxidasas y oxigenasas. Bajo la genérica denominación de polifenoloxidasas quedan comprendidas dos tipos de enzimas: las catecoloxidasas (E.C. 1.10.3.1) que catalizan la hidroxilación de monofenoles en posición orto para obtener *o*-difenoles (actividad cresolasa) y la oxidación de los *o*-difenoles a sus correspondientes *o*-quinonas (actividad catecolasa), y las lacasas (E.C. 1.10.3.2) que oxidan tanto *o*-difenoles como *p*-difenoles a sus correspondientes quinonas (Walter y McCallion, 1980). Sin embargo, se ha cuestionado que las lacasas estén involucradas en los procesos de pardeamiento enzimático ya que están ausentes en la mayoría de los vegetales.

Las peroxidasas (E.C. 1.11.1.7) son un grupo de enzimas ampliamente distribuidas en plantas, cuya función inicial es oxidar los donantes de hidrógeno a expensas de los peróxidos. Contienen hierro en su grupo prostético. Desempeñan cierta función en el pardeamiento al utilizar las formas quinónicas como sustratos peróxidos; además, son capaces de aceptar una amplia gama de donantes de hidrógeno incluyendo los mono y difenoles (Richard-Forget y Gauillard, 1997). Sin embargo, si bien es responsable de la aparición de sabores extraños y olores desagradables, su implicación en el proceso de pardeamiento está muy limitada debido a la baja disponibilidad de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en el interior de las células (Robinson, 1991). La polifenoloxidasa genera peróxido de hidrógeno cuya cantidad depende de la estructura fenólica sobre la que actúa.

Algunos trabajos han puesto de manifiesto que el pH óptimo para la actuación de las polifenoloxidasas y peroxidasas oscila entre 5,0 y 7,0. Sin embargo, existe una gran heterogeneidad en los resultados de las publicaciones referentes a los parámetros que afectan a la actividad enzimática de la peroxidasa y polifenoloxidasa (pH óptimo, grado de latencia, especificidad por el sustrato, etc.). En muchas ocasiones se recurre a la utilización de metodologías ya utilizadas por otros autores sin tener en cuenta la necesidad de optimizar todos los

parámetros que influyen claramente en la actividad de dichas enzimas (tampón de extracción, pH de actuación, especificidad hacia distintos sustratos, concentración del sustrato, etc.).

Teniendo en cuenta que se ha descrito que estas enzimas están implicadas en uno de los procesos más significativo de deterioro postcosecha de la yuca, el estriado vascular (Isamah, 2004), es necesario optimizar la determinación de la actividad peroxidasa y polifenoloxidasas para poder analizar la actividad de dichas enzimas, tanto en el momento del corte como durante la conservación de la yuca una vez procesada mínimamente.

2. Materiales y métodos

2.1. Material vegetal

Para establecer las condiciones óptimas de determinación de las actividades enzimáticas, peroxidasa y polifenoloxidasas se utilizó la variedad de yuca denominada comúnmente “yuca marrón” (ver sección Material y Métodos general).

2.2. Obtención del extracto enzimático

La obtención del extracto enzimático se realizó según Cano *et al.* (1995). Fue necesario homogeneizar 2,5 g de yuca con un tampón de extracción [10 ml de tampón fosfato 0,2 M (Merck), 1 M NaCl (Merck) y pH 7] en presencia de polivinilpolipirrolidona (PVPP, Sigma) al 1% para precipitar los fenoles. La homogenización se realizó en un homogeneizador de alta velocidad Politrón PT-3100 (Kinematica AG) durante 1 minuto a 13.000 rpm utilizando un baño de hielo. Posteriormente las muestras se centrifugaron en una centrífuga Jouan CR312 Thermo Electron Corporation a 7.000 rpm y 4°C durante 30 minutos. El sobrenadante se filtró a través de una gasa y se utilizó posteriormente para la determinación de la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasas

(extracto enzimático). Fue necesario evaluar la concentración del tampón fosfato sódico de extracción, la presencia o no de cloruro sódico para aumentar la fuerza iónica del tampón de extracción, así como distintos pHs. También se evaluó la incorporación de distintos porcentajes de PVPP.

2.3. Determinación de las actividades enzimáticas peroxidasa y polifenoloxidasas

La determinación de la actividad peroxidasa se realizó por adición a 25 μ l del extracto enzimático de 2,7 ml de tampón fosfato sódico 0,05 M pH 7,0, 200 μ l de parafenilendiamina al 2% (Sigma) y 100 μ l de peróxido de hidrógeno al 1,5% (v/v) (Sigma). La lectura se realizó en un espectrofotómetro UV-visible a la longitud de onda de 485 nm durante 60 segundos. Para obtener la mayor actividad de la enzima peroxidasa se optimizó: el pH del tampón de lectura y los porcentajes de los reactivos parafenilendiamina y peróxido de hidrógeno presentes en la mezcla de reacción.

Del mismo modo, la determinación de la actividad de la polifenoloxidasas se realizó por adición a 25 μ l del extracto enzimático de 3 ml de catecol 0,07 M en tampón fosfato sódico 0,05 M pH 7,0. La lectura espectrofotométrica se realizó a la longitud de onda de 420 nm durante 30 segundos. Para obtener la mayor actividad del enzima peroxidasa se optimizó: el pH del tampón de lectura, la concentración del sustrato y del peróxido de hidrógeno.

Tanto los resultados de la actividad peroxidasa como de la actividad polifenoloxidasas se expresaron como Δ DO/min*g yuca.

2.4. Determinación del contenido de proteínas

Se realizó según el método colorimétrico desarrollado por Bradford (1976). A 775 μ l de agua destilada se añadieron 200 μ l del reactivo Bio-rad Protein Assay (Munich, Alemania) y 25 μ l del extracto enzimático y tras agitar se dejó en reposo 10 minutos. La lectura se realizó en un espectrofotómetro UV-visible a la longitud

de onda de 595 nm. Al tiempo que se realizó el análisis del contenido proteico en el extracto enzimático, se elaboró una recta patrón con seroalbúmina bovina (BSA, Sigma). En la gráfica que se obtuvo representando la absorbancia a 595 nm frente a las concentraciones conocidas de BSA, se extrapolaron las absorbancias determinadas en el extracto enzimático (Figura 1). Los resultados se expresaron como mg proteínas/g yuca.

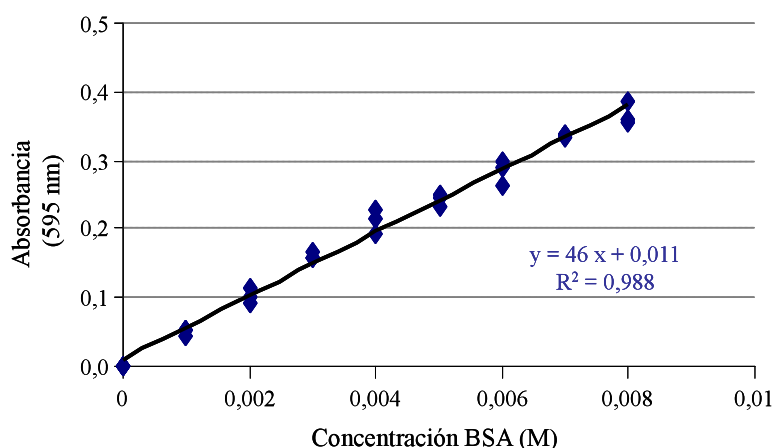


Figura 1. Recta patrón realizada con seroalbúmina bovina (BSA) para determinar el contenido proteico en el extracto enzimático de yuca.

2.5. Parámetros a optimizar

2.5.1. Tampón de extracción

En general, la fracción soluble de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasas se extrae con agua o tampones de baja fuerza iónica, mientras que la fracción ligada requiere tampones de fuerza iónica elevada. En ocasiones es incluso necesaria la utilización de detergentes como Tween-80 o Triton X-100 para extraer las formas de polifenoloxidasas ligadas a la pared (Galeazzi *et al.*, 1981). La oxidación de los fenoles durante el proceso de extracción origina pigmentos poliméricos que pueden inactivar a la enzima polifenoloxidasas por lo que se recurre a trabajar a bajas temperaturas (próximas a 0°C) o a la adición de

sustancias capaces de unirse a los fenoles eliminándolos del medio. La PVPP (o PVP insoluble) es uno de los polímeros más utilizados (Prince, 1992).

Atendiendo a todo lo anteriormente expuesto, se realizaron extracciones con distintos tampones para establecer aquel más adecuado para la extracción de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa.

- 1) Tampón fosfato sódico 0,05 M (pH 7,0)
- 2) Tampón fosfato sódico 0,10 M (pH 7,0)
- 3) Tampón fosfato sódico 0,20 M (pH 7,0)
- 4) Tampón fosfato sódico 0,30 M (pH 7,0)
- 5) Tampón fosfato sódico 0,05 M (pH 7,0) + Cloruro sódico 1 M
- 6) Tampón fosfato sódico 0,10 M (pH 7,0) + Cloruro sódico 1 M
- 7) Tampón fosfato sódico 0,20 M (pH 7,0) + Cloruro sódico 1 M
- 8) Tampón fosfato sódico 0,30 M (pH 7,0) + Cloruro sódico 1 M

A todos los tampones se les añadió un 1% de PVPP.

Una vez seleccionado el tampón de extracción, se determinó la concentración de PVPP necesaria para precipitar los fenoles que existen en la yuca y así evitar que interfirieran en la determinación enzimática. Se añadió en el tampón de extracción 1, 2 y 3% de PVPP.

Para determinar el pH del tampón de extracción se preparó el tampón fosfato sódico con el que se obtuvo la máxima actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa a distintos pHs (6,0, 6,5, 7,0 y 7,5).

2.5.2. Tampón de lectura

El pH óptimo de actuación de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa varía ampliamente de unos productos a otros. Se evaluó la actividad de dichas enzimas utilizando un tampón de lectura a distintos pHs (4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0, 7,5 y 8,0).

2.5.3. Concentración de reactivos para determinar la actividad de la enzima peroxidasa

Se utilizó como sustrato parafenilendiamina preparado a distintas concentraciones (0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5 y 5,0%).

Una vez fijado el porcentaje de parafenilendiamina óptimo, se evaluó en qué porcentaje debía estar el peróxido de hidrógeno para que la actividad de la enzima peroxidasa fuera máxima. Se empleó peróxido de hidrógeno al (0,0, 0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 1,25, 1,50, 1,75, 2,0, 2,25 y 2,5%).

2.5.4. Especificidad de la enzima polifenoloxidasas hacia distintos sustratos

Se utilizaron como sustratos no naturales el catecol y el 4-metil-catecol y como sustratos naturales la catequina y la dopamina, disueltos en tampón fosfato sódico 0,05 M pH 7,0.

Una vez seleccionado el sustrato se determinó la concentración necesaria en el medio de reacción para que la actividad de la enzima polifenoloxidasas fuera máxima.

3. Resultados y discusión

3.1. Elección del tampón de extracción

Se evaluaron distintos tampones fosfato sódico cuyas concentraciones oscilaron entre 0,05 M y 0,3 M y en presencia o no de cloruro sódico 1 M. El pH se mantuvo en 7,0.

Se observó que la adición de cloruro sódico 1 M al tampón de extracción aumentaba la actividad de la enzima peroxidasa independientemente de la concentración de fosfato sódico utilizado. Así, la menor actividad de la enzima peroxidasa se produjo cuando se empleó el tampón 0,05 M, siendo un 34% de la

actividad obtenida cuando la extracción se realizó con el tampón fosfato sódico 0,3 M con cloruro sódico 1 M (Figura 2a).

La mayor actividad de la enzima polifenoloxidasa se produjo cuando la extracción se realizó con el tampón fosfato sódico 0,2 M. Sin embargo, no se observaron grandes variaciones cuando se utilizaron el resto de tampones evaluados: así, la actividad descendió un 19%, respecto a la actividad máxima alcanzada en las condiciones evaluadas, cuando se empleó 0,1 M con cloruro sódico 1 M y un 6% cuando se usaron los tampones 0,05 M con o sin cloruro sódico 1 M y 0,2 M con cloruro sódico 1 M. Por lo tanto, la utilización de tampones más concentrados o la adición de cloruro sódico para aumentar la fuerza iónica del tampón no extrajeron mayor cantidad de la enzima (Figura 2b).

El mayor contenido en proteínas se obtuvo al utilizar el tampón fosfato sódico 0,2 M. Al igual que ocurría con la extracción de la enzima polifenoloxidasa, no parece existir una relación clara entre el aumento de la fuerza iónica del tampón de extracción y una mayor extracción de proteínas (Figura 2c).

Debido a que la máxima actividad de la enzima peroxidasa se consiguió con el tampón de extracción 0,3 M con cloruro sódico 1 M, la de la enzima polifenoloxidasa con el tampón 0,2 M, y el mayor contenido de proteínas se extrajo con el tampón 0,2 M, fue necesario llegar a una solución de compromiso en relación a la concentración del tampón de extracción.

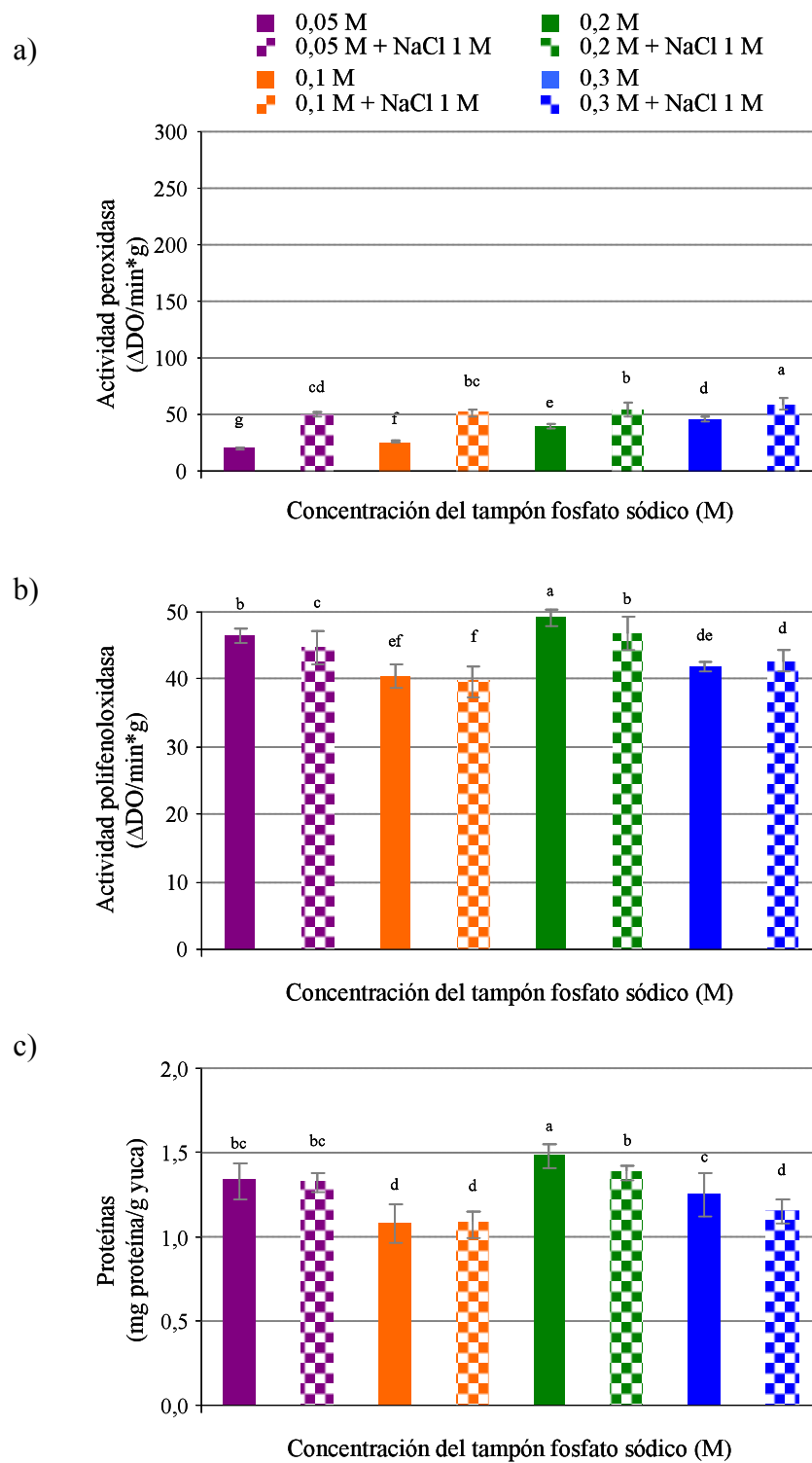


Figura 2. Actividad de la enzima peroxidasa (a), de la enzima polifenoloxidasa (b) y contenido en proteínas (c) en función de la concentración del tampón fosfato sódico de extracción con o sin adición de cloruro sódico (NaCl) 1 M.

Teniendo en cuenta que cuando se utilizó el tampón de extracción 0,2 M la actividad de la enzima peroxidasa disminuyó un 33% respecto a la obtenida con la concentración óptima para la extracción de dicha enzima, se seleccionó el tampón fosfato sódico 0,2 M con cloruro sódico 1 M, ya que las actividades de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa se mantuvieron altas (91 y 93% respecto a la actividad máxima alcanzada en las condiciones evaluadas, respectivamente) al tiempo que la extracción de proteínas era del 93% respecto a la obtenida con el tampón 0,2 M (sin adición de cloruro sódico).

3.2. Concentración de PVPP

Se evaluó la adición de PVPP (1, 3 y 5%) o no (0%) durante la extracción, con el fin de determinar cómo afectaba el porcentaje de este reactivo en la determinación de la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa, así como en el contenido de proteínas extraídas.

Se observó que la concentración de PVPP no afectó a la actividad de la enzima peroxidasa ni al contenido de proteínas (Figuras 3a y 3c). Sin embargo, sí influyó en la determinación de la actividad de la enzima polifenoloxidasa, siendo la actividad máxima de dicha enzima cuando la concentración de PVPP utilizada fue del 3 y 5% (Figura 3b) ya que precipitaban más fenoles del medio. De ahí que se estimó que fuera necesario utilizar un 3% de PVPP durante la extracción. No existen en bibliografía estudios en los que se haya evaluado la influencia de distintas concentraciones de PVPP en la actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasa en yuca. Es más, distintos autores (Barthet, 1997; Reilly *et al.*, 2001) utilizan concentraciones extremadamente bajas de PVPP (1% y 0,15%, respectivamente) pudiéndose ver influida la actividad polifenoloxidasa tal y como hemos observado en este ensayo.

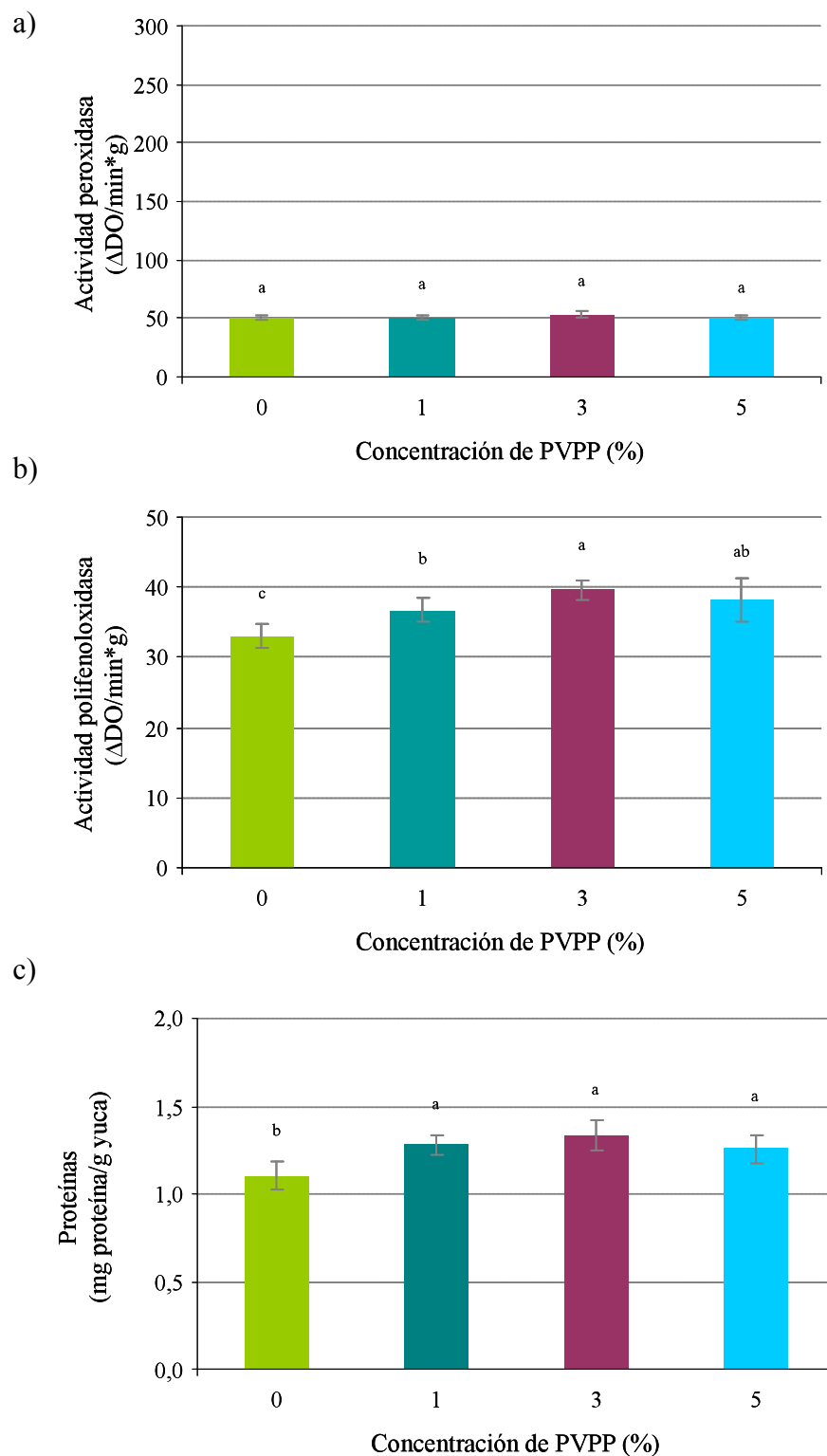


Figura 3. Actividad de la enzima peroxidasa (a), polifenoloxidasa (b) y contenido en proteínas (c) en función de la concentración de PVPP.

3.3. Elección del pH del tampón de extracción

Con el fin de determinar el pH óptimo del tampón de extracción para obtener la mayor actividad de las enzimas peroxidasa y polifenoloxidasas, así como la mayor extracción de proteínas, se evaluaron distintos pHs (5,0, 6,0, 6,5, 7,0 y 7,5).

En la [Figuras 4a y 4c](#) se observa que el pH del tampón de extracción no afectó a la actividad de la enzima peroxidasa ni al contenido de proteínas extraídas. En cambio, la actividad de la enzima polifenoloxidasas fue máxima cuando el pH del tampón de extracción fue 7,0 ó 7,5 ([Figura 4b](#)). De ahí que se seleccione el tampón fosfato sódico 0,2 M con cloruro sódico 1M con un pH de 7,0 en presencia de un 3% de PVPP como tampón de extracción para la determinación tanto de las actividades enzimáticas peroxidasa y polifenoloxidasas como del contenido de proteínas.

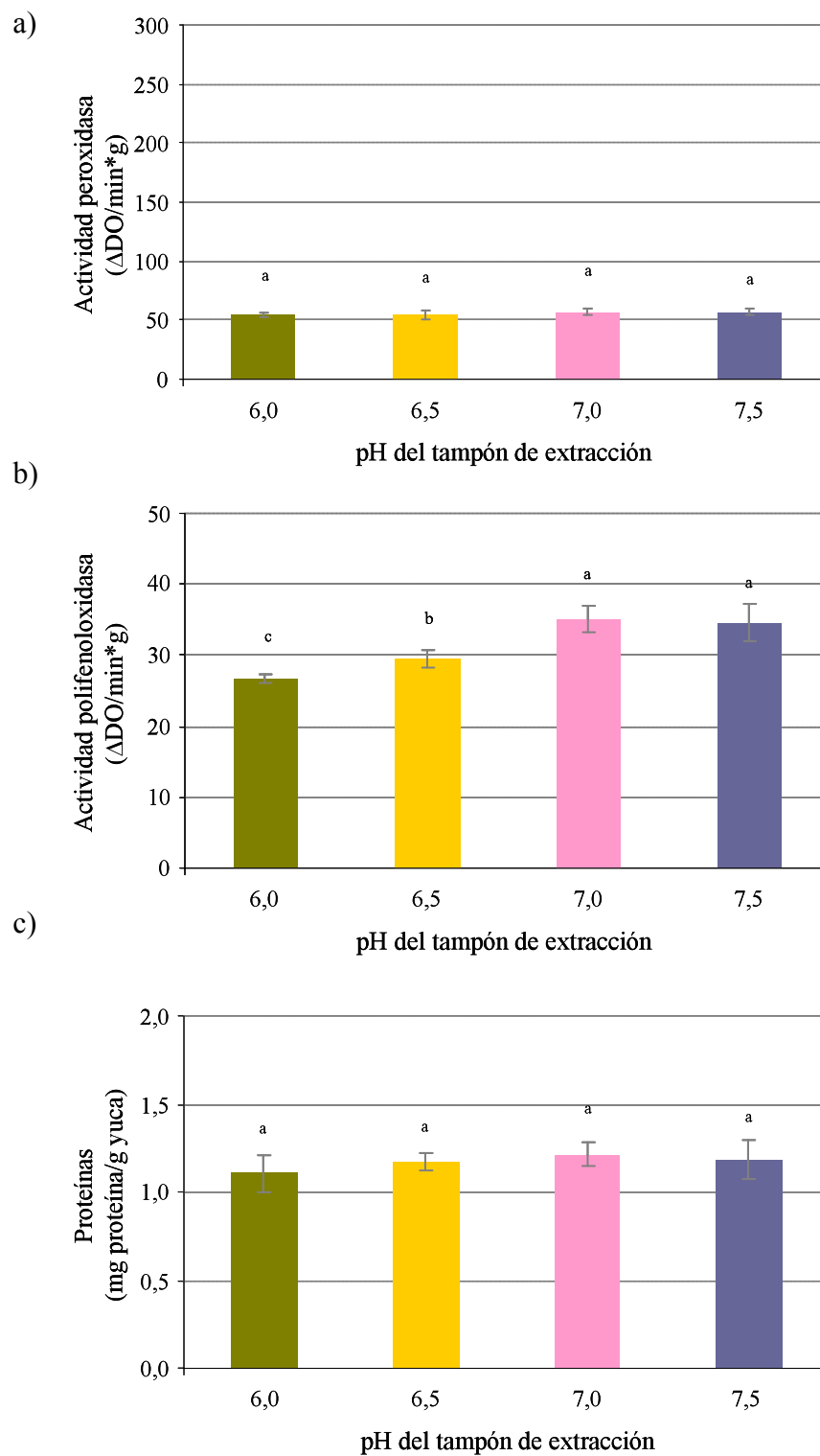


Figura 4. Actividad de la enzima peroxidasa (a) y polifenoloxidasas (b) y contenido en proteínas (c) en función del pH del tampón de extracción.

3.4. Determinación del pH óptimo de actuación de la enzima peroxidasa y polifenoloxidasa

Para determinar el pH óptimo de actuación y obtener las máximas actividades de dichos enzimas, se utilizó como tampón de lectura (medio en el que tiene lugar la reacción) un tampón fosfato sódico 0,05 M cuyo pH osciló entre 4,5 y 7,5.

En la **Figura 5a** se muestra la actividad de la enzima peroxidasa a los distintos pHs de lectura. Se observó que a medida que aumentó el pH del tampón de lectura menor fue la actividad de la enzima peroxidasa. Así el máximo de la actividad peroxidasa se obtuvo a pH 5,0, mientras que a pH 8,0 la actividad de la enzima se redujo en un 87% respecto a la actividad que se obtuvo a pH 5,0. Asimismo, cuando el pH fue de 4,5 la actividad de la enzima disminuyó un 2% respecto a la obtenida con el pH óptimo de lectura para la determinación de dicha enzima. Reilly *et al.* (2004) determinaron la actividad peroxidasa en yuca según el método descrito por Peyrado *et al.* (1996) utilizando como sustrato guaiacol en tampón fosfato 0,05 M a pH 5,2. Sin embargo, el pH óptimo de actuación de la enzima polifenoloxodasa fue 7,0 (**Figura 5b**) no detectándose actividad entre los pHs 4,5 y 5,5, lo que pudiera estar relacionado con el sustrato utilizado (catecol). Diversos autores (Barthet, 1997; Reilly *et al.*, 2001) utilizan como sustrato catecol en un tampón a pH entre 6,2 y 6,8. Por tanto, el pH del tampón de lectura afectó claramente a la actividad de ambas enzimas por lo que fue indispensable utilizar los tampones ajustados a dichos pHs.

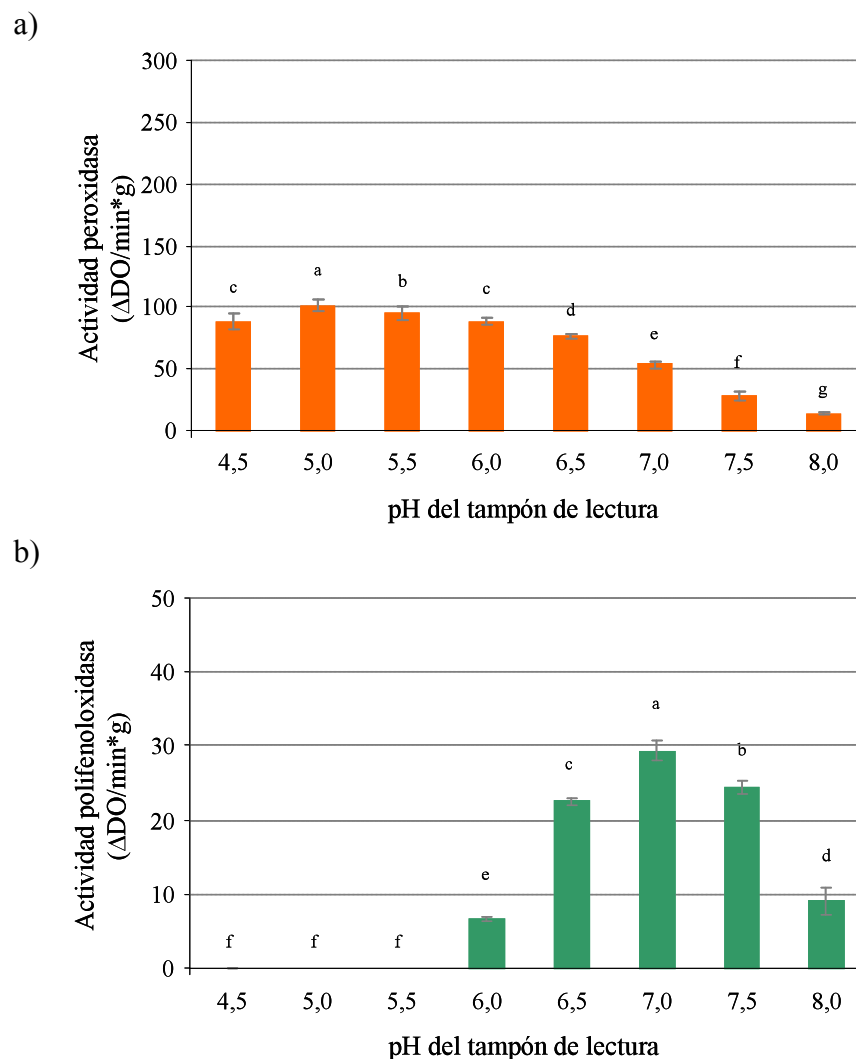


Figura 5. Actividad de la enzima peroxidasa (a) y polifenoloxidasas (b) en función del pH del tampón de lectura.

3.5. Concentración de parafenilendiamina y peróxido de hidrógeno

El extracto enzimático obtenido según la optimización realizada en este Anexo se utilizó para determinar la concentración óptima de parafenilendiamina y de peróxido de hidrógeno en la mezcla de reacción para que la actividad de la enzima peroxidasa fuese máxima. La enzima peroxidasa puede actuar sobre distintos sustratos (guaiacol, ortodanisidina, etc.); sin embargo, en este ensayo se

utilizó parafenilendiamina ya que la ortodiansidina es altamente cancerígena y no se disponía de guaiacol.

En primer lugar se evaluó la utilización de parafenilendiamina preparada entre un 0,5 y un 5%. Como se observa en la [Figura 6](#), a medida que aumentó la concentración de parafenilendiamina mayor fue la actividad de la enzima peroxidasa. Sin embargo, la actividad peroxidasa se mantuvo constante cuando la concentración de parafenilendiamina estuvo por encima del 2%.

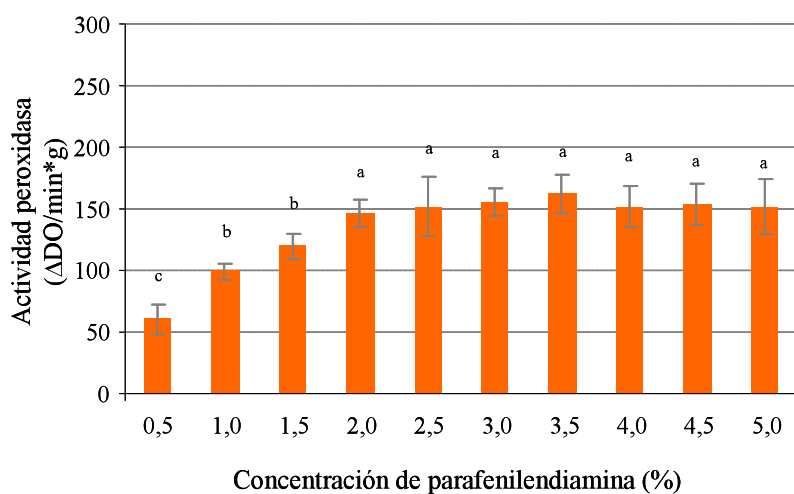


Figura 6. Actividad de la enzima peroxidasa en función de la concentración de parafenilendiamina.

Una vez fijada la concentración del sustrato, se evaluó si la concentración a la que se adicionaba el peróxido de hidrógeno a la mezcla de reacción influía en la actividad de la enzima peroxidasa. Como se muestra en la [Figura 7](#) la actividad máxima se obtuvo con peróxido de hidrógeno al 1,5%.

La mezcla de reacción para la determinación de la actividad de peroxidasa optimizada será por tanto: 2,7 ml de tampón fosfato sódico 0,05 M pH 5,0, 100 μ l de peróxido de hidrógeno 1,5%, 200 μ l de parafenilendiamina 2% y 25 μ l de extracto enzimático.

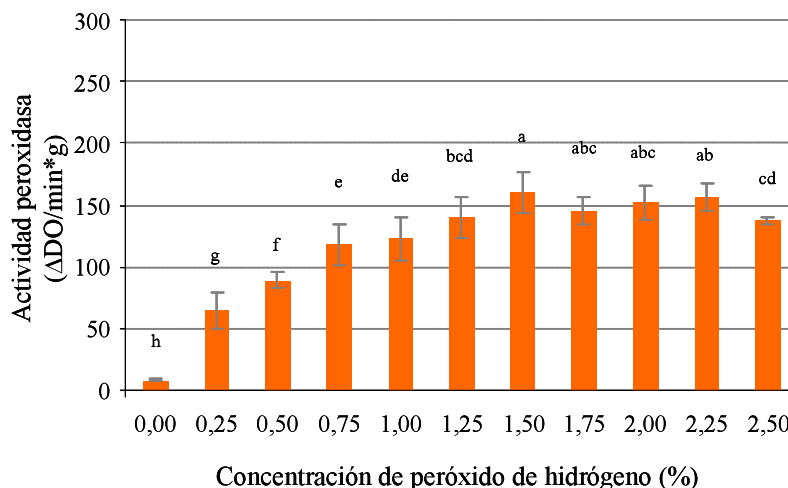


Figura 7. Actividad de la enzima peroxidasa en función de la concentración de peróxido de hidrógeno.

3.6. Especificidad de la enzima polifenoloxidasas a distintos sustratos

Se determinó la especificidad de la enzima polifenoloxidasas de yuca a cuatro sustratos. La determinación espectrofotométrica se realizó a 420 nm cuando se utilizó catecol, 4-metil-catecol y catequina y a 480 nm para Dopamina.

En la Figura 8 se muestra la actividad de la enzima polifenoloxidasas cuando se emplean diferentes sustratos a distintas concentraciones. Se observó que a medida que aumentó la concentración de catecol, la actividad de la enzima polifenoloxidasas aumentó hasta que se saturó, debido al exceso de sustrato. Dicha saturación se produjo cuando la concentración de catecol fue superior a 0,05 M. Cuando se utilizó el 4-metil-catecol como sustrato de la enzima polifenoloxidasas, la saturación se produjo a concentraciones más bajas (entre 0,011 y 0,015 M). Cuando se emplearon sustratos naturales como la dopamina, la saturación se produjo a una concentración próxima a 0,05 M mientras que para la catequina fue de 0,02 M. Además, mientras que la reacción fue muy rápida cuando se utilizaron los sustratos no naturales (30-60 segundos), se requerían unos 5 minutos para observar cambios de absorbancia significativos cuando se emplearon los sustratos naturales. En el caso de la catequina, además fue necesario la utilización de un

mayor volumen de extracto enzimático (8 veces más) para que tuviera lugar la reacción (200 µl en lugar de 25 µl como en el resto de sustratos). Aún así la actividad de la enzima frente a la catequina no llegó a 0,5 ΔDO/min*g yuca, por lo que dicho sustrato no es adecuado para la determinación de la actividad de la enzima polifenoloxidasas en yuca.

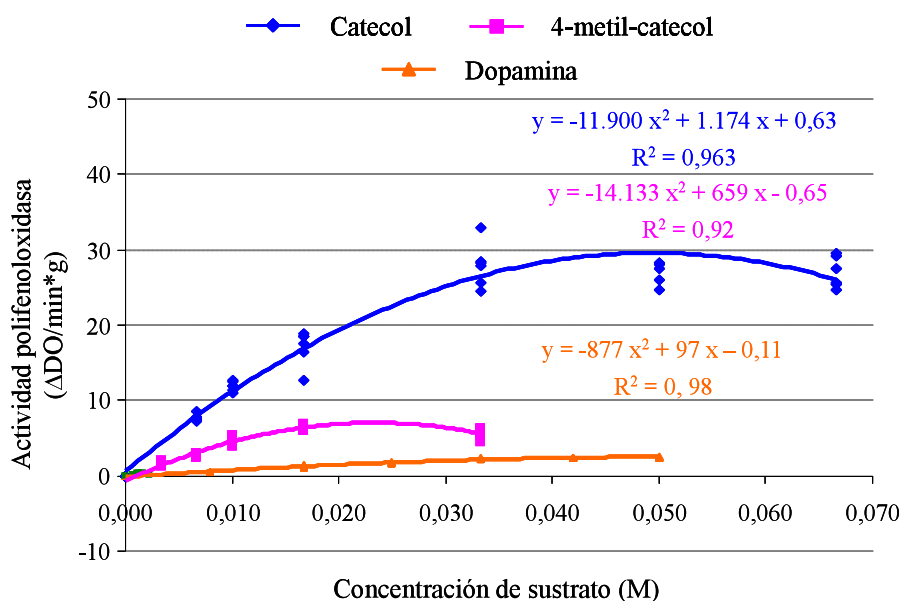


Figura 8. Actividad de la enzima polifenoloxidasas cuando se utilizaron distintas concentraciones de catecol, 4-metil-catecol y dopamina.

La constante de Michaelis-Menten (K_m) de una enzima es una característica útil e importante, no sólo para la descripción matemática de la cinética enzimática, sino también para cuantificar la actividad de la enzima en los tejidos y la purificación de la enzima. Además, la concentración de sustrato, que proporciona la mitad de la velocidad máxima, da una información útil para el análisis de algunos mecanismos de regulación enzimática. Para ello se determinó la K_m y V_{max} , para todos los sustratos ensayados. Para su determinación se representó la inversa de la concentración de cada sustrato frente a la inversa de la actividad de la enzima a distintas concentraciones del sustrato (representación de Lineweaver-Burk) (Figuras 9a, 9b y 9c).

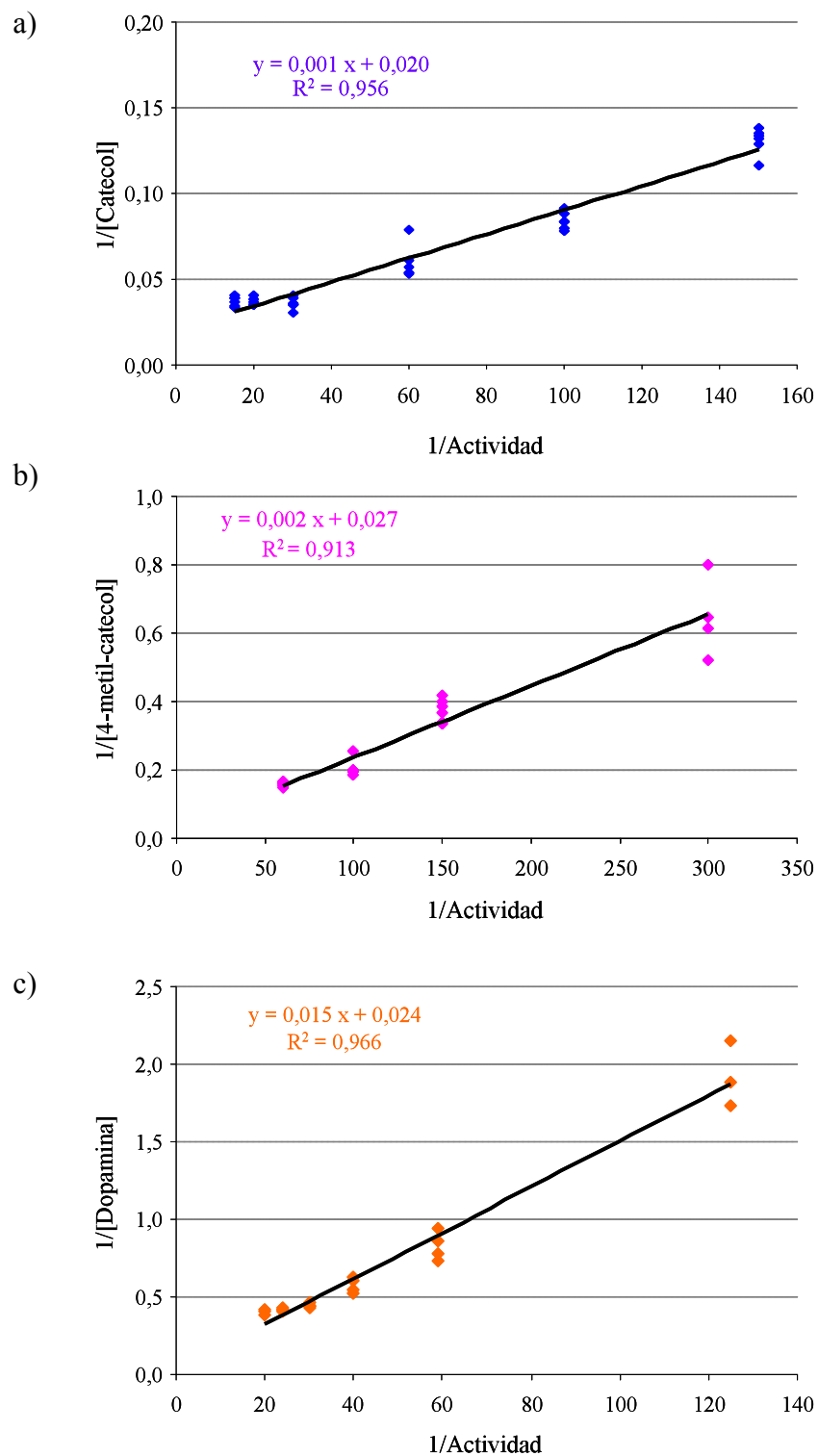


Figura 9. Representación de Lineweaver-Burk para los sustratos catecol (a), 4-metil-catecol (b) y dopamina (c) en la determinación de la actividad de la polifenoloxidasas.

A partir de la ecuación de la recta ($y = m x + b$) se puede determinar K_m y V_{max} ya que $b = 1/V_{max}$; la pendiente (m) = K_m/V_{max} y por tanto $K_m = m V_{max}$. K_m nos da una idea de la afinidad que tiene el enzima por el sustrato así que cuanto mayor es K_m menor es la afinidad (predominan las formas enzima “E” y sustrato “S” libres) mientras que cuanto menor es K_m , mayor es la afinidad (predomina el producto “ES”) (Lehninger, 1986). Tal y como puede observarse en la **Tabla 1**, la enzima polifenoloxidasas de yuca mostró mayor afinidad por el sustrato catecol ($K_m = 0,03$ M) seguida por el 4-metil-catecol ($K_m = 0,08$ M) y finalmente por la dopamina ($K_m = 0,062$ M). Además, la relación V_{max}/K_m nos indica qué sustrato es el más adecuado para la enzima, de manera que se seleccionó el sustrato catecol al tener mayor valor (**Tabla 1**).

Para tener la certeza de que el medio de reacción está saturado en sustrato, se utilizó catecol 0,07 M en tampón fosfato 0,05 M pH 7,0.

Tabla 1. Valores de K_m , V_{max} y V_{max}/K_m en función del sustrato empleado en la determinación de la actividad polifenoloxidasas.

Sustrato	K_m (M)	V_{max} ($\Delta DO/min \cdot g$ yuca)	V_{max}/K_m
Catecol	0,034	49	1.429
4-metil-catecol	0,076	36	476
Dopamina	0,62	42	68

Barthet (1997) estudió, en la fracción de polifenoloxidasas obtenida de yuca mediante purificación por HPLC, la actividad de dicha enzima frente a varios sustratos (catecol, catequina y D,L-Dopa). Seleccionó el sustrato catecol como el más adecuado para determinar la actividad de la enzima debido a que el valor de V_{max}/K_m era mayor que para el resto de sustratos ensayados pese a que su K_m

era inferior. El valor de K_m obtenido por este autor fue el mismo que se obtuvo en este ensayo (0,03 M).

La mezcla de reacción para la determinación de la actividad de polifenoloxidasas optimizada será por tanto: 3,0 ml de catecol 0,07 M en tampón fosfato sódico 0,05 M pH 7,0 y 25 μ l de extracto enzimático.

Durante los ensayos de optimización se observó que, aun utilizándose las mismas condiciones de extracción (tampón fosfato sódico 0,2 M con cloruro sódico 1 M a pH 7,0, concentración de PVPP 1%) y de determinación de la actividad de la enzima (catecol 0,07 M en tampón fosfato sódico 0,05 M a pH 7,0), se produjo una disminución de la actividad de la enzima polifenoloxidasas desde $47 \pm 2 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca (ensayo de optimización del tampón de extracción) hasta $37 \pm 2 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca (ensayo de optimización del porcentaje de PVPP). Además, una vez optimizada la concentración de PVPP (3%), la actividad de la enzima polifenoloxidasas se redujo en los ensayos realizados para optimizar el pH del tampón de extracción y el pH del tampón de lectura (desde $35 \pm 2 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca hasta $29 \pm 1 \Delta DO/\text{min} \cdot \text{g}$ yuca). Dicha disminución puede ser debida a que durante las distintas optimizaciones se produjo una descongelación y congelación de la muestra (polvo de yuca congelada a -80°C) que pudo provocar que los fenoles, presentes en ésta, bloquearan receptores de la enzima. Por lo tanto, se estimó oportuno que los análisis enzimáticos en yuca, realizados durante la optimización de las etapas del proceso de elaboración del tubérculo mínimamente procesado, se realizaran en una muestra que no hubiera sufrido descongelación previa, ya que dicho proceso (descongelación y congelación) puede afectar a la actividad de la enzima.

4. Bibliografía

- Amiot, M.J., Tacchini, M., Aubert, S. y Nicolas, J. (1992). Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science*, 57 (4), 958-962.
- Amiot, M.J., Tacchini, M., Aubert, S.Y. y Oleszek, W. (1995). Influence of cultivar, maturity stage, and storage conditions on phenolic composition and enzymatic browning of pear fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 1132-1137.
- Barthet, V.J. (1997). Polyphenoloxidases from cassava (*Manihot esculenta* C.) root: Extraction, purification and characterization. Tesis Doctoral. University McGill, Montreal, Canadá.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Cano, M.P., de Ancos, B. y Lobo, M.G. (1995). Peroxidase and polifenoloxidase activities in papaya during postharvest ripening and after freezing/thawing. *Journal of Food Science*, 60 (4), 815-817, 820.
- Galeazzi, M.A., Valdemiro, C., Sgarbieri, C. y Constantinides, S.M. (1981). Isolation, purification and physicochemical characterization of polyphenoloxidases (PPO) from a dwarf variety of banana (*Musa Cavendishii*, L). *Journal of Food Science*, 46, 150-155.
- Isamah, G. (2004). ATPase, peroxidase and lipoxygenase activity during post-harvest deterioration of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root tubers. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 54 (4), 319-323.
- Laurila, E., Kervinen, R. y Ahvenainen, R. (1998). The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. *Postharvest news and information*, 9 (4), 53-66.
- Lehninger, A.L. (1986). Bioquímica: las bases moleculares de la estructura y función celular. Omega, Barcelona, España, 1.117 p.

- Mayer, A.M. (1987). Polyphenol oxidases in plants: recent progress. *Phytochemistry*, 26 (1), 11-20.
- Nicolas, J.J., Richard-Forget, F.C., Goupy, P.M., Amiot, M.J. y Aubert, S.Y. (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34 (2), 109-157.
- Peyrado, G.M., Deforchetti, S.M., Tigier, H. y Taleisnik, E. (1996). Tissue printing for peroxidases associated with lignification. *Biotechnic and Histochemistry*, 71, 258-262.
- Prince, N.C. (1992). Techniques for enzyme extraction. En: *Enzyme assays. A practical approach*. Eienthal, R. y Dauson, M.J. (Eds.). Oxford University Press, Oxford, Reino Unido, 282 p.
- Reilly, K. (2001). Oxidative stress-related genes in cassava post-harvest physiological deterioration. Tesis Doctoral, University of Bath, Bath, Reino Unido.
- Reilly, K., Gómez-Vásquez, R., Buschmann, H., Tohme, J. y Beeching, J.R. (2004). Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration. *Plant Molecular Biology*, 56, 625-641.
- Richard-Forget, F.C. y Gaillard, F.A. (1997). Oxidation of chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear polyphenol oxidase and peroxidase: a possible involvement of peroxidase in enzymatic browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 2472-2476.
- Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swatsitand, P. y Glover, G. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66, 401-436.
- Robinson, D.S. (1991). Peroxidases and their significance in fruits and vegetables. En: *Food Enzymology*. Fox, P.F. (Ed.). Elsevier, Londres, Reino Unido, 371-476.
- Sapers, G.M. (1993). Browning of foods: Control by sulphites, antioxidants, and other means. Scientific status summary. *Food Technology*, 47, 75-84.

Vamos-Vigyazo, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15, 49-127.

Walter, J.R.L. y McCallion, R.F. (1980). The selective inhibition of *ortho* and *para*- diphenol oxidases. *Phytochemistry*, 19, 373-377.

Anexo II: Optimización de la extracción, hidrólisis y cuantificación de glucósidos cianogénicos en yuca

1. Introducción

En la yuca existen glucósidos cianogénicos, principalmente linamarina (93%) (Nartey, 1968; Nartey, 1978) y lotaustralina, que al ser degradados enzimáticamente producen ácido cianhídrico, producto que es altamente tóxico para la salud humana ya que inhibe la respiración mitocondrial de las células. Tanto el cianuro como el tiocianato, su metabolito de excreción, son bociógenos y actúan bloqueando la bomba tiroidea de la captación de yoduros e incrementando su eliminación renal. Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, es de vital importancia conocer el contenido en glucósidos cianogénicos de la yuca, así como el efecto que el procesado tiene en dichos glucósidos. Con este objetivo es necesario ajustar la metodología analítica existente al material vegetal que se va a utilizar para el procesado mínimo de yuca.

La determinación de glucósidos cianogénicos requiere la hidrólisis de los glucósidos cianogénicos a cianohidrininas y luego a cianidas y la determinación de las cianidas o del ácido cianhídrico. Los métodos cuantitativos (Bradbury *et al.*, 1991; Bradbury y Egan, 1994) incluyen la hidrólisis de la linamarina de la yuca mediante la enzima linamarasa contenida en dicho tubérculo (hidrólisis enzimática) o bien mediante el uso de un ácido (hidrólisis ácida), dando lugar a ácido cianhídrico que se determina espectrofotométricamente a 510 nm. Otros métodos (Egan *et al.*, 1998; Bradbury *et al.*, 1999) son métodos semicuantitativos que se basan en la hidrólisis enzimática (autólisis) de la linamarina. En estos métodos se pone en contacto la yuca con un papel impregnado en ácido pícrico y tampón fosfato, a pH 8, a una temperatura y un tiempo suficientes para que la enzima linamarasa reaccione con los glucósidos cianogénicos contenidos en el tubérculo. Dependiendo de la concentración de glucósidos cianogénicos en la

muestra, el papel impregnado en pícrico adquirirá un color que va desde el amarillo intenso (0 mg/kg) a marrón oscuro (800 mg/kg). Este método es sencillo y ayuda a que en países no desarrollados, donde el cultivo de la yuca es importante, los análisis se puedan hacer en campo.

El objetivo del trabajo descrito en este anexo fue optimizar la hidrólisis de los glucósidos cianogénicos contenidos en la yuca y el método de determinación del ácido cianhídrico producido en dicha hidrólisis. Para ello se comparó la hidrólisis de los glucósidos en el tubérculo mediante hidrólisis enzimática o autólisis, aprovechando la linamarasa presente en la yuca, y la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico. También se optimizaron parámetros como el tiempo de hidrólisis, la concentración de ácido pícrico y el tiempo de extracción. Por último, se evaluó el contenido en glucósidos cianogénicos en la corteza y el parénquima de la variedad de yuca objeto de análisis y en distintas partes de un corte longitudinal del tubérculo (zona apical, media y basal).

2. Materiales y métodos

Para los distintos estudios se empleó la variedad de yuca denominada comúnmente como “yuca marrón” (ver sección Material y Métodos general).

La hidrólisis enzimática o autólisis consistió en la mezcla de 1 g de yuca con 5 ml de tampón fosfato (sodio dihidrogenofosfato e hidrogenofosfato disódico, suministrados por Merck) 0,1 M a pH 6,0. La mezcla se homogeneizó con un homogeneizador de alta velocidad Politron PT-3100 (Kinematica AG), durante 1 minuto a 13.000 rpm y a 4°C. Después, se añadió a la mezcla un papel (1 x 2 cm) impregnado en una disolución de ácido pícrico (0,50% p/v, Panreac) preparada en 2,5% p/v de carbonato sódico (Merck) y se mantuvo durante 16 horas (tiempo variable en función de cada experimento en particular; se modificó entre 0 y 24 horas) en agitación a temperatura controlada (30°C). Alternativamente a la utilización del papel impregnado en ácido pícrico se añadió el ácido pícrico

(preparado en medio carbonato sódico) en disolución (concentración variable en función de cada experimento en particular; se modificó entre 0,057 y 0,23%). Después de las 16 horas, en el caso de utilizar el papel impregnado en pícrico, se sacó el papel y se añadieron 5 ml de agua destilada, manteniendo el papel en el agua durante 30 minutos.

El proceso de hidrólisis ácida consistió en la mezcla de la muestra (0,50 g de parénquima y 0,25 g corteza) con 2 ml ácido orto-fosfórico 0,1 M (Panreac) como agente extractante, y posterior homogeneizado a 13.000 rpm durante 1 minuto (4°C) en un homogeneizador de alta velocidad Politron PT-3100 Kinematica AG. La mezcla se centrifugó en una centrifuga Jouan CR312 Thermo Electron Corporation a 3.800 rpm y 4°C durante 40 minutos (tiempo variable en función de cada experimento en particular; se modificó entre 10 y 40 minutos). A 0,5 ml del sobrenadante se le añadieron 0,5 ml de ácido sulfúrico 4 M (Panreac) para hidrolizar los glucósidos cianogénicos, proceso que se realizó en un baño a 100°C durante 30 minutos (tiempo variable en función de cada experimento en particular; se modificó entre 0 y 120 minutos) en agitación. Una vez transcurrido este tiempo se añadió 1 ml de hidróxido sódico 3,6 M (Panreac) y ácido pícrico hasta obtener una concentración final de 0,075% (concentración variable en función de cada experimento en particular; se modificó entre 0,075 y 0,14%). Dicha mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente durante 3 horas (tiempo variable en función de cada experimento en particular; se modificó entre 0 y 5 horas).

La cuantificación de los compuestos cianogénicos se realizó mediante espectrofotometría UV-visible a la longitud de onda de 510 nm, utilizando como estándar ácido cianhídrico (HCN, Sigma). Los distintos estándares de ácido cianhídrico, al ser volátil, se prepararon diariamente antes de la calibración. Los resultados se expresaron como mg ácido cianhídrico/kg yuca. Las extracciones e

hidrólisis se realizaron en triplicado, siempre en tres trozos de yuca independientes.

3. Resultados y Discusión

En primer lugar se utilizó el método de autólisis propuesto por Bradbury *et al.* (1999) en el que se emplea un papel impregnado en ácido pícrico y trozos de yuca enteros (aproximadamente 100 mg de yuca y 1-2 mm de grosor). La utilización de este método obtuvo resultados poco reproducibles. En consecuencia, se decidió descartar dicho método, en el que se utiliza la muestra entera, para la determinación de ácido cianhídrico en las muestras de yuca.

A continuación se realizaron pruebas para conocer si, en la determinación del ácido cianhídrico producido por la autólisis (hidrólisis enzimática producida por la linamarasa propia de la yuca) de los glucósidos cianogénicos, era más efectiva la adición del ácido pícrico disuelto en carbonato sódico (a la concentración de 0,50%) o impregnado en papel (a partir de una disolución de concentración 0,50%). En este caso, el material vegetal se homogeneizó con el tampón fosfato 0,1 M pH 6 para favorecer la extracción de los glucósidos cianogénicos contenidos en la yuca (Figura 10).

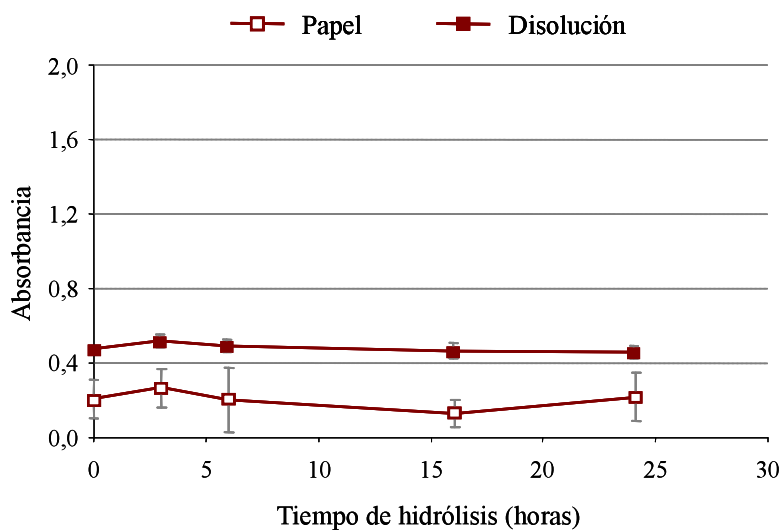


Figura 10. Comparación de la determinación del ácido cianhídrico, después de la autólisis, añadiendo el ácido pícrico impregnado en un papel o en disolución.

La utilización del ácido pícrico impregnado en el papel disminuyó la reproducibilidad de los resultados pues se produjo mucha mayor variabilidad en éstos. En consecuencia, se decidió determinar el ácido cianhídrico añadiendo el ácido pícrico en disolución.

Una vez descartada la determinación del ácido cianhídrico con el papel impregnado en ácido pícrico, se comparó la eficacia de la autólisis y la hidrólisis ácida de los glucósidos cianogénicos de la yuca añadiendo el ácido pícrico (a una concentración de 0,075%), en ambos casos, en disolución. Como se puede observar en la [Figura 11](#), la hidrólisis ácida, a esta concentración, fue mucho más rápida y efectiva para producir la hidrólisis de los glucósidos cianogénicos de la yuca.

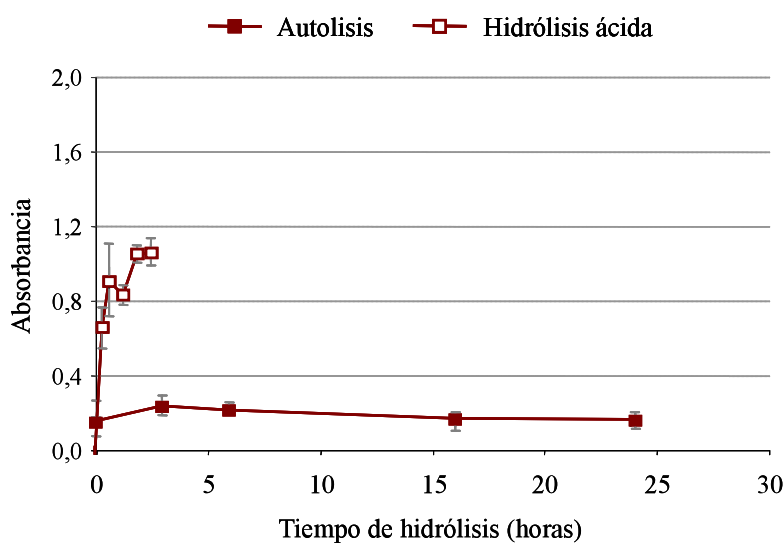


Figura 11. Comparación de la autólisis y la hidrólisis ácida de los glucósidos cianogénicos de la yuca.

Posteriormente, se modificó la concentración de ácido pícrico (entre 0,057 y 0,23%) añadido en disolución durante la autólisis (Figura 12), con el objetivo de comprobar si la cantidad de ácido pícrico añadido no era suficiente para reaccionar con el ácido cianhídrico formado. De esta manera se comprobó que, durante la autólisis, no se hidrolizaban todos los glucósidos contenidos en el tubérculo, encontrándose en todos los casos el ácido pícrico en exceso. Por lo tanto, se seleccionó la hidrólisis ácida como la más adecuada para hidrolizar los glucósidos cianogénicos en la yuca.

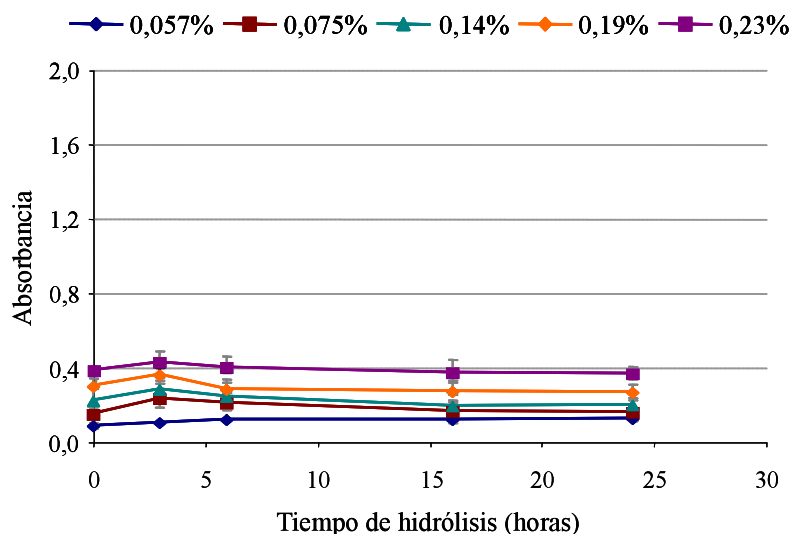


Figura 12. Evaluación de la concentración óptima de ácido pícrico, añadida durante la autólisis de los glucósidos cianogénicos.

A continuación se optimizó la concentración de ácido pícrico a utilizar en la determinación espectrofotométrica del ácido cianhídrico después de la hidrólisis ácida de los glucósidos cianogénicos. Para ello se extrajeron los glucósidos a partir de la yuca mediante homogeneización a alta velocidad durante 1 minuto del material vegetal en ácido orto-fosfórico 0,1 M y centrifugación durante 10 minutos. Posteriormente se añadieron distintas concentraciones de ácido pícrico (entre 0,075 y 0,14%) directamente en el medio en el que se realizó posteriormente la hidrólisis a 100°C durante tiempos variables comprendidos entre 0 y 120 minutos (Figura 13). Se observó que la señal fue más alta a la mayor concentración de ácido pícrico (0,14%) de las evaluadas; sin embargo, para todas las concentraciones de ácido pícrico, existió una gran variabilidad en la señal obtenida.

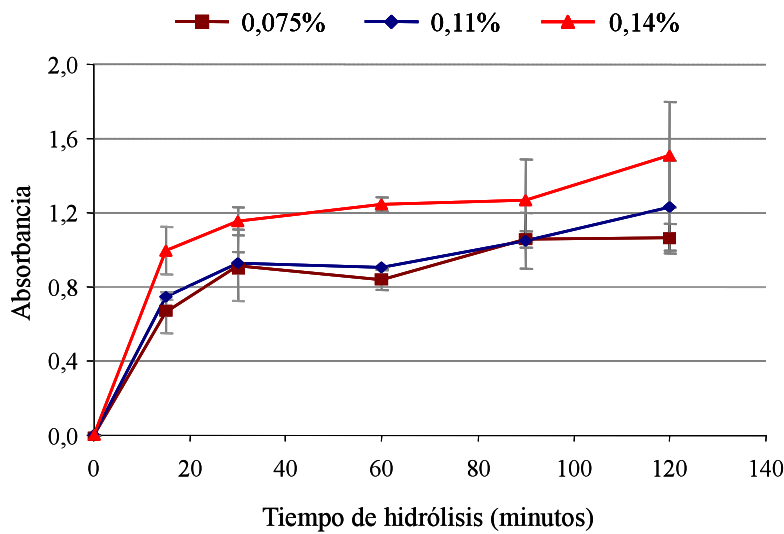


Figura 13. Evaluación de la concentración óptima de ácido pícrico, añadida durante la hidrólisis ácida de los glucósidos cianogénicos.

Con el objetivo de disminuir dicha variabilidad se evaluó el efecto de la concentración de ácido pícrico en la señal espectrofotométrica pero añadiendo el ácido pícrico después de que se hubiera producido la hidrólisis ácida de los glucósidos (Figura 14).

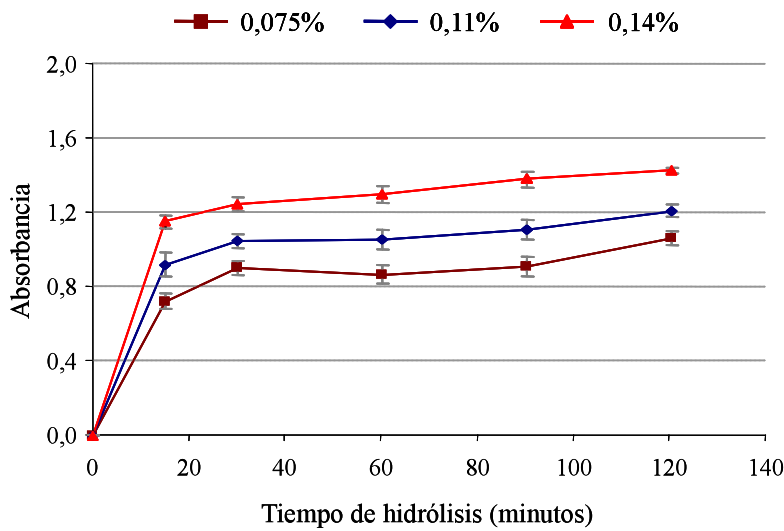


Figura 14. Evaluación de la concentración óptima de ácido pícrico, añadida después de la hidrólisis ácida de los glucósidos cianogénicos.

En este caso se confirmó que a medida que aumentó la concentración del ácido pícrico aumentó la señal. Sin embargo, se estimó que la concentración de 0,075% de ácido pícrico era una concentración adecuada para la determinación espectrofométrica del ácido cianhídrico producido en la hidrólisis de los glucósidos, produciéndose un menor gasto de dicho reactivo. También se observó que la mayor parte de la hidrólisis de los glucósidos se produjo en la primera media hora de hidrólisis, aunque posteriormente tuvo lugar un ligero aumento de la absorbancia. La adición del ácido pícrico después de la hidrólisis mejoró notablemente los resultados disminuyendo, de forma significativa, la variabilidad de éstos.

Por último, se optimizó el tiempo de extracción de los glucósidos cianogénicos en el ácido orto-fosfórico 0,1 M a partir de la yuca. Para ello la muestra, una vez homogeneizada, se centrifugó durante 10, 20, 30 ó 40 minutos (Figura 15). Se observó que a tiempos cortos (10 ó 20 minutos) la extracción de los glucósidos cianogénicos no fue total; sin embargo, cuando la muestra se centrifugó durante 30 ó 40 minutos la extracción de estos compuestos pudo considerarse completa.

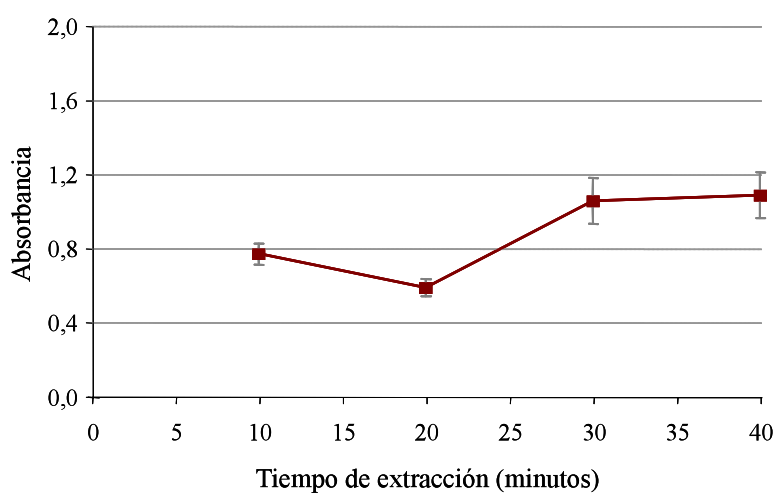


Figura 15. Optimización del tiempo de extracción de los glucósidos cianogénicos contenidos en la yuca, previa a la hidrólisis ácida de éstos.

El tiempo de reacción entre el ácido cianhídrico y el ácido pícrico y la concentración óptima de ácido pícrico a utilizar en la determinación espectrofotométrica del ácido cianhídrico formado se confirmaron haciendo reaccionar un estándar de ácido cianhídrico, a la concentración de 40 mg/l, con el ácido pícrico a distintas concentraciones (entre 0,020 y 0,10%), entre 0 y 300 minutos. Una concentración de ácido pícrico de 0,075% fue suficiente para asegurar que dicho ácido se encontraba en exceso en el medio, siendo así capaz de reaccionar con todo el ácido cianhídrico formado por hidrólisis de los glucósidos cianogénicos (Figura 16). El tiempo de reacción óptimo se fijó en 180 minutos.

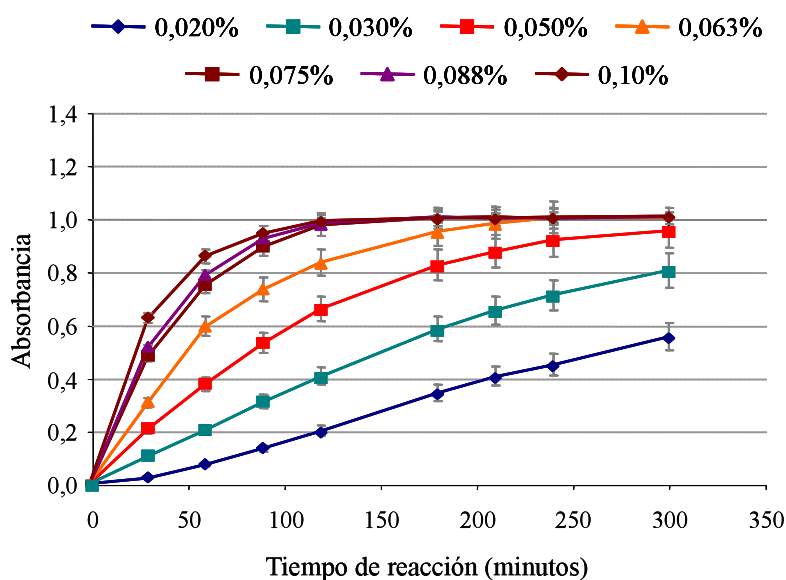


Figura 16. Optimización del tiempo de reacción entre el ácido cianhídrico, formado por hidrólisis ácida de los glucósidos cianogénicos, y el ácido pícrico y de la concentración de ácido pícrico.

Una vez optimizada la concentración de ácido pícrico (en 0,075%) se evaluó si la reacción era completa con distintas concentraciones de ácido cianhídrico entre 7,5 y 45 mg/l (Figura 17). Se confirmó que la concentración de ácido pícrico y el tiempo de reacción eran los adecuados para poder determinar los glucósidos cianogénicos en yuca.

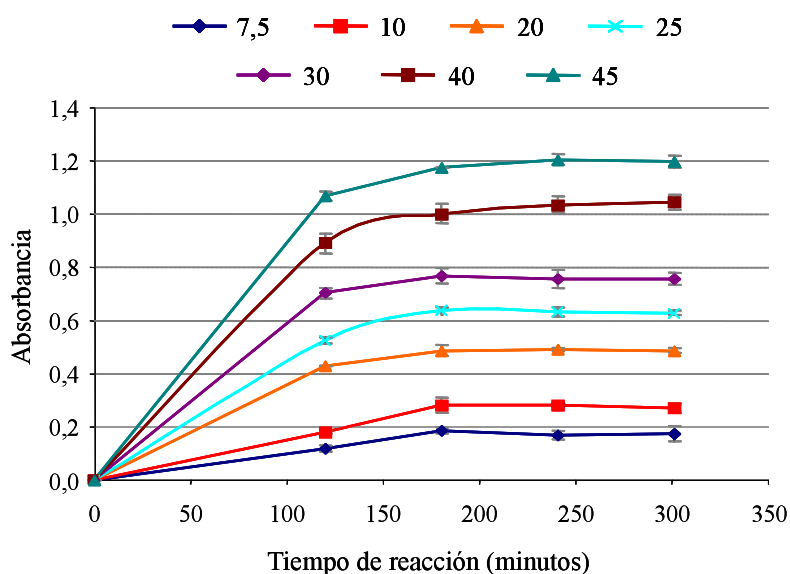


Figura 17. Efecto de la concentración de ácido cianhídrico y el tiempo de reacción entre éste y el ácido pícrico sobre la señal espectrofotométrica.

En las condiciones optimizadas se construyó la curva de calibración representando la señal obtenida para el ácido cianhídrico formado por hidrólisis de los glucósidos cianogénicos (en unidades de absorbancia) frente a la concentración de ácido cianhídrico a siete niveles de concentración. Cada nivel de concentración se analizó en triplicado. La respuesta UV-visible del ácido cianhídrico (y) en el intervalo de concentraciones (x) entre 7,5 y 45 mg/ml fue lineal ($y = 0,0254 x + 0,0003$) con un coeficiente de regresión (r^2) de 0,994.

Una vez optimizada la metodología analítica para la determinación de los glucósidos cianogénicos en la yuca se analizó el contenido en glucósidos de la corteza y el parénquima de la yuca seis horas después de la recolección del tubérculo y después de 18 horas y 66 horas de conservación a 10°C (Tabla 2). El contenido en glucósidos cianogénicos disminuyó en la corteza durante la conservación a 10°C; sin embargo, la concentración en el parénquima se mantuvo constante. El contenido en estos compuestos fue mucho mayor (entre 6 y 13 veces) en la corteza que en el parénquima del tubérculo.

Tabla 2. Contenido en glucósidos cianogénicos en la corteza y el parénquima de la yuca.

Contenido en glucósidos cianogénicos (mg HCN/kg yuca)			
Tejido	6 horas 25°C	6 horas 25°C + 18 horas 10°C	6 horas 25°C + 66 horas 10°C
Corteza	379 ± 60 ^{a/A}	302 ± 28 ^{b/A}	275 ± 35 ^{b/A}
Parénquima	42 ± 16 ^{a/B}	22 ± 17 ^{a/B}	43 ± 24 ^{a/B}

Letras minúsculas o mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,050$) entre tiempos de conservación y tejido de la yuca, respectivamente.

También se evaluó el contenido en glucósidos cianogénicos en distintas partes de la yuca: apical, central y basal. Dicha composición fue igual en todos los tejidos: 104 ± 18 mg HCN/kg yuca.

4. Bibliografía

- Bradbury, J.H., Egan, S.V. y Lynch, M.J. (1991). Analysis of cyanide in cassava using acid hydrolysis of cyanogenic glucosides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 55 (2), 277-290.
- Bradbury, J.H. y Egan, S.V. (1994). Improved methods of analysis for cyanide in cassava and screening for low cyanide varieties in the pacific. *Acta Horticulturae*, 380, 237-242.
- Bradbury, M.G., Egan, S.V. y Bradbury, J.H. (1999). Picrate paper kits for determination of total cyanogens in cassava roots and all forms of cyanogens in cassava products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79 (4), 593-601.
- Egan, S.V., Yeoh, H.H. y Bradbury, H.J. (1998). Simple picrate paper kit for determination of the cyanogenic potencial of cassava flour. *Journal of the*

Science of Food and Agriculture, 76, 39-48.

Nartey, F. (1968). Studies on cassava *Manihot utilissima*, Pohl. 1. Cyanogenesis: the biosynthesis of linamarina and lotaustralin in etiolated seedlings.

Phytochemistry, 7, 1307-1312.

Nartey, F. (1978). *Manihot esculenta* (cassava). Cyanogenesis, ultrastructure and seed germination. Munksgaard, Copenhagen, Dinamarca, 262 p.