

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ESPECIFICAS PARA EL  
EMPAQUE EN ATMÓSFERA MODIFICADA DE TROZOS DE ÑAME  
ESPINO (*Dioscorea rotundata* For)

ROBERT ALBERTO BETIN MARTINEZ  
WALDIR AUGUSTO PACHECO PEREZ

UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
SINCELEJO-COLOMBIA  
2004

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ESPECIFICAS PARA EL  
EMPAQUE EN ATMÓSFERA MODIFICADA DE TROZOS DE ÑAME  
ESPINO (*Dioscorea rotundata* Poir)

ROBERT ALBERTO BETIN MARTINEZ  
WALDIR AUGUSTO PACHECO PEREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

*Director*

JUAN CARLOS PALACIO PIEDRAHITA  
Ingeniero Agroindustrial

*Codirector*

RICARDO DAVID ANDRADE PIZARRO  
Ingeniero Químico  
Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos

*Campo(s) de Investigación*

DESARROLLO Y MANEJO DE PRODUCTOS Y PROCESOS  
AGROINDUSTRIALES  
ENVASES Y EMPAQUES

UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
SINCELEJO-COLOMBIA  
2004

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Sincelejo, Diciembre de 2004

*Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo...*

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la sabiduría y la voluntad que me han hecho ser hasta hoy lo que soy. A mis padres por su apoyo, sacrificio y ejemplo durante toda mi formación personal y profesional. A mi hermana y a Octavio por su amistad, pero sobre todo por ese apoyo e intención para colaborar y protegerme. Y general a todos aquellos amigos que siempre estuvieron ahí...*

*Waldir P.*

*A Dios, A mis padres Escilda y Alberto por su constante colaboración y apoyo para ayudarme a salir adelante. A mis hermanos William, Alberto, Juan Manuel, Ernesto, Aldemar, Alfonso, Mabel, Marlith, Lorena, Idailda y Nelly por su invaluable colaboración y ayuda desinteresada a todo lo largo de mi formación. A Sandra e Isabella motores de mí vida.*

*Robert B.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que han colaborado para la consecución de este trabajo en especial a la Fundación INTAL (Instituto de Ciencia y Tecnología Alimentaria) por su apoyo en esta investigación. También deseamos resaltar, con especial aprecio, el aporte de Claudia Estela Restrepo Flores, Profesional en Ciencia y Tecnología de Alimentos y asesora de Investigación de este trabajo. Sus comentarios, correcciones, seguimiento, coordinación y su abundante aporte fueron de gran ayuda para la culminación y desarrollo del mismo. Nuestra gratitud se extiende al Ing. Juan Carlos Palacio Piedrahita, Director de este trabajo; por su constante apoyo, orientación, seguimiento, colaboración y confianza a lo largo del proceso, pero sobre todo por su valiosa amistad y por creer en este proyecto.

Deseamos agradecer en particular a todas las demás personas de la Fundación INTAL, al Dr. Jairo Humberto Patiño, Director de la Fundación INTAL; al Ing. Juan Pablo Marín Galvis, Coordinador de Planta de la Fundación hasta entonces, a Omar Sánchez Vallejo, Director Administrativo, Tatiana Moreno, Comunicaciones, William Salazar, Asistente de Investigación en el INTAL, por sus consejos, animo y apoyo; y en general a todas aquellas personas de la Organización Alico que siempre nos mostraron su colaboración.

Asimismo, deseamos brindar nuestro agradecimiento al Ing. Ricardo David Andrade Pizarro, Codirector de este trabajo ante la Universidad de Sucre. Al profesor Carlos Fernández, docente de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, por su aporte en la parte estadística y a todos nuestros compañeros de la Universidad de Sucre que siempre nos brindaron su apoyo, colaboración y afecto durante nuestra formación profesional. De igual manera, expresamos nuestro agradecimiento a los demás compañeros vinculados a la Fundación INTAL cuando se realizó este trabajo, en especial al Ingeniero de Alimentos Jhon Alex Cárdenas por compartir información y documentación sobre temas de interés y al Microbiólogo de Alimentos Alexi Robles por su colaboración en la parte microbiológica.

Waldir Pacheco desea expresar su agradecimiento a la Familia Palacio Piedrahita por su hospitalidad, afecto, protección y apoyo durante su estadía en la ciudad de Medellín.

*A*ntes, hace no demasiado tiempo, era suficiente una formación inicial para entrar en el mundo laboral y, después, la propia experiencia suplía la necesidad de una preparación adicional. Recién entrado el s.glo XXI la situación ha cambiado y nos encontramos inmersos en una sociedad en vertiginoso cambio donde los conceptos, competencias y maneras de entender el mundo se tornan obsoletos de forma acelerada. El progreso tecnológico y la globalización han modificado los procesos hacia otros cada vez más complejos y que para su manejo se requiere un bagaje de conocimientos y habilidades constantemente actualizados.

*Ante esta situación solo quedan dos actuaciones posibles: Pararse o Andar. "Pararse" es creer que con los antiguos métodos se pueden resolver los problemas actuales; "Andar" es reconocerse ignorantes y formarse, formarse y volver a formarse...*

*Centro de Formación de Postgrado  
Universidad Politécnica de Valencia  
Valencia, España*

## TABLA DE CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
1. ESTADO DEL ARTE	19
1.1. GENERALIDADES SOBRE EL ÑAME ( <i>Dioscorea spp</i> )	
1.1.1. Origen	19
1.1.2. Taxonomía	19
1.1.3. Descripción de la planta	21
1.1.4. Ecología y adaptación	22
1.1.5. Valor nutricional	22
1.1.6. Usos y utilidades	24
1.1.7. Zonas productoras	26
1.1.8. Tecnología de cosecha y postcosecha	29
1.1.9. Mercadeo y Comercialización	33
1.1.10. Agroindustria	37
1.2. GENERALIDADES SOBRE LA TECNOLOGÍA DE ATMÓSFERA MODIFICADA	38
1.2.1. Antecedentes históricos	38
1.2.2. Conceptos sobre atmósfera modificada	40
1.2.3. Principio de la atmósfera modificada	41
1.2.4. La atmósfera de equilibrio	43
1.2.5. Generación de la atmósfera modificada	44
1.2.6. Tecnología del empaque en atmósfera modificada	45
1.2.6.1. Métodos de modificación de la atmósfera en alimentos empacados	46
1.2.6.2. Principales materiales de empaque en AM para uso potencial con frutas y hortalizas mínimamente procesadas	47
1.2.6.3. Gases utilizados en el empaque en atmósfera modificada	48
1.2.6.4. Mezclas de gases	49
1.2.7. Ventajas y desventajas de la aplicación de la AM	50
1.2.8. Recientes aplicaciones de las AM	51
1.2.9. Legislación y medioambiente	53
1.3. FRUTAS Y HORTALIZAS MINIMAMENTE PROCESADAS	54
2. METODOLOGÍA	55
3. RESULTADOS	64
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	89
5. CONCLUSIONES	95
6. RECOMENDACIONES	96
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	98
ANEXOS	104

## LISTA DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
<u>Tabla 1.</u> Clasificación taxonómica del ñame ( <i>Dioscorea spp</i> )	20
<u>Tabla 2.</u> Contenido nutricional de diferentes especies de ñame ( <i>Dioscorea spp</i> )	23
<u>Tabla 3.</u> Aminoácidos esenciales en cultivares de diferentes especies de ñames	24
<u>Tabla 4.</u> Análisis físico-químicos realizados durante las etapas de experimentación	55
<u>Tabla 5.</u> Características de los materiales de empaque utilizados para evaluar la conservación de los trozos de ñame espino en atmósfera modificada	59
<u>Tabla 6.</u> Parámetros de ensayo para el empaquetado al vacío de los trozos de ñame espino ( <i>D. rotundata Poir</i> )	60
<u>Tabla 7.</u> Parámetros de ensayo para el empaquetado al vacío de los trozos de ñame espino durante la etapa de evaluación y conservación final	61
<u>Tabla 8.</u> Análisis microbiológicos realizados durante la etapa de evaluación y conservación final	62
<u>Tabla 9.</u> Propiedades fisicoquímicas del ñame espino	64
<u>Tabla 10.</u> Tasas respiratorias de los ñames troceados a temperatura de refrigeración y ambiente	65
<u>Tabla 11.</u> Variación de la concentración de O <sub>2</sub> (%), CO <sub>2</sub> (%), pH y Acidez (%) a través del tiempo durante la etapa preliminar A	74
<u>Tabla 12.</u> Variación de gases (%) a través del tiempo, durante la etapa preliminar B	77
<u>Tabla 13.</u> Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las diferentes muestras de ñame empacados al vacío. Temp. 4.8 °C +/- 1.55	83
<u>Tabla 14.</u> Resultados análisis microbiológicos	87
<u>Tabla 15.</u> Análisis de costo al empacar en AM	88

## LISTA DE FIGURAS

		<i>Pág.</i>
<u>Figura 1</u>	Variedades de ñame cultivadas en Córdoba, Sucre y Bolívar	21
<u>Figura 2</u>	Área y rendimiento mundial	26
<u>Figura 3</u>	Proveedores, participación en la producción – 2000	27
<u>Figura 4</u>	Evolución y tasa de crecimiento del área cosechada de los tubérculos en Colombia entre 1992 y 2000	28
<u>Figura 5</u>	Importaciones de ñame en el mercado de Estados Unidos en 1994 y 1998 respectivamente (Toneladas)	34
<u>Figura 6</u>	Representación esquemática de las tres perspectivas de los productos envasados en atmósfera modificada	42
<u>Figura 7</u>	Cambios relativos en las concentraciones de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> durante la conservación en atmósfera modificada activa y pasiva	45
<u>Figura 8</u>	Variación de la concentración de O <sub>2</sub> durante la medición de la tasa de respiración a temperatura de refrigeración (5.07°C +/- 1.68)	65
<u>Figura 9</u>	Variación de la concentración de CO <sub>2</sub> durante la medición de la tasa de respiración a 5.07°C (+/- 1.68)	66
<u>Figura 10</u>	Variación de la concentración de O <sub>2</sub> (% v/v) durante la medición de la tasa de respiración a temperatura ambiente (27.17°C +/- 0.82)	67
<u>Figura 11</u>	Variación de la concentración de CO <sub>2</sub> (% v/v) durante la medición de la tasa de respiración a temperatura ambiente (27.17°C +/- 0.82)	67
<u>Figura 12</u>	Producción de CO <sub>2</sub> (ml CO <sub>2</sub> /Kg.h) en los ñames troceados a través del tiempo (5.07°C +/- 1.68)	68
<u>Figura 13</u>	Producción de CO <sub>2</sub> (ml CO <sub>2</sub> /Kg.h) en los ñames troceados a través del tiempo (27.17°C +/- 0.82)	68
<u>Figura 14</u>	Trozos de ñame con coloraciones indeseables como consecuencia de la oxidación enzimática	69
<u>Figura 15</u>	Evolución del O <sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A	71
<u>Figura 16</u>	Evolución del CO <sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A	72
<u>Figura 17</u>	Evolución del pH a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A	75
<u>Figura 18</u>	Evolución de la Acidez (%) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A	76
<u>Figura 19</u>	Evolución del O <sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar B	78
<u>Figura 20</u>	Evolución del CO <sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar B	80
<u>Figura 21</u>	Evolución del pH en las muestras empacadas al vacío a través del tiempo	85
<u>Figura 22</u>	Evolución de la acidez (%) en las muestras	

<u>Figura 23</u>	empacadas al vacío a través del tiempo Ñames troceados empacados al vacío: a) Primeros días de almacenamiento, b) Después de 31 días de almacenamiento	85
<u>Figura 24</u>	Comportamiento de la tasa de respiración en función de la temperatura	86
		90

## LISTA DE ANEXOS

	<i>Pág.</i>
<u>Anexo A</u> Composición nutricional de una porción comestible (100 g) de diversos alimentos	105
<u>Anexo B</u> Características de permeabilidad de diferentes películas plásticas de posible utilización en el MAP de productos frescos y mínimamente procesados.	106
<u>Anexo C</u> Mezclas de gases recomendadas para el envasado en atmósfera modificada de productos hortofrutícolas	107
<u>Anexo D</u> Diagrama de operaciones para el empaçado de trozos de ñame espino ( <i>Dioscorea rotundata Poir</i> ) en atmósfera modificada	108
<u>Anexo E</u> Serie fotográfica de las diversas operaciones en el empaçado de trozos de ñame en atmósfera modificada	109
<u>Anexo F</u> Equipos utilizados para la medición de gases y empaque en atmósfera modificada	110
<u>Anexo G</u> Formatos de seguimiento	111
<u>Anexo H</u> Formatos de investigación	114
<u>Anexo I</u> Caracterización del producto	117
<u>Anexo J</u> Resumen Análisis de Varianza	118
<u>Anexo K</u> Datos de Respiración	120
<u>Anexo L</u> Tasas respiratorias (ml CO <sub>2</sub> /Kg-h) de tubérculos de ñame después de cosechados, durante la dormancia y germinación	121

## RESUMEN

Dentro de las estrategias que ha venido siguiendo Colombia en sus planes de desarrollo, se han identificado cultivos que podrían constituirse en renglones importantes de exportación. Uno de estos es el cultivo del ñame (*Dioscorea spp*), el cual por su contribución a la seguridad alimentaria y sus usos finales; se ha convertido en una alternativa novedosa para penetrar a nuevos mercados de exportación. Sin embargo, actualmente en nuestro país es un producto que encara problemas fundamentalmente por el lado de la postcosecha y la agroindustria; debido en gran parte a que la investigación orientada a su valoración como materia prima agroindustrial es escasa, atomizada y limitada. En vista a esto y teniendo en cuenta las últimas tendencias en cuanto al consumo de productos alimenticios, una alternativa para ampliar el consumo del ñame, agregar valor y penetrar nuevos mercados es la presentación del tubérculo mínimamente procesado y empacado bajo condiciones de atmósfera modificada. En este trabajo se estudio la aptitud del ñame troceado al empacarlo en películas poliméricas y bajo condiciones de atmósfera modificada con el objetivo de determinar las condiciones de conservación y empaque que prolongara por un periodo de tiempo mayor la vida de anaquel del producto y lo conservara en óptimas condiciones. Para este propósito, se evaluaron diferentes películas plásticas con dos métodos de modificación de la atmósfera: envasado al vacío y con gases. Al final, los resultados mostraron que el ñame mínimamente procesado presenta mejores resultados al empacarse en condiciones de vacío y en una película plástica de permeabilidad baja al oxígeno, lo que le garantiza un tiempo de vida en anaquel de aproximadamente 30 días aproximadamente.

**Palabras claves:** ñame, atmósfera modificada, películas plásticas, productos mínimamente procesados, vida en anaquel

## ABSTRACT

Inside the strategies that he/she has come following Colombia in their development plans, cultivations have been identified that could be constituted in important lines of export. One of these it is the cultivation of the yam (*Dioscorea spp*), the one which for their contribution to the security would feed and its final uses; he/she has become a novel alternative to penetrate to new export markets. However, at the moment in our country it is a product that faces problems fundamentally for the side of the postcosecha and the agroindustry; largely to that the investigation guided to their valuation like matter prevails agroindustrial it is scarce, atomized and limited. In view to this and keeping in mind finishes them tendencies as for the consumption of nutritious products, an alternative to enlarge the consumption of the yam, to add value and to penetrate new markets is the presentation of the tuber processed minimumly and packed under conditions of modified atmosphere. In this work you study the aptitude of the choppy yam when packing it in plastics films and under atmosphere conditions modified with the objective of to determine the conservation conditions and packing that it prolonged for a period of more time the life of shelf of the product and it conserved it under good conditions. For this purpose, different plastic films were evaluated with two methods of modification of the atmosphere: packed to the vacuum and with gases. At the end, the results showed that the yam processed minimumly it presents better results when being packed under vacuum conditions and in a plastic film of low permeability to the oxygen, what guarantees him a time of life in shelf of 30 days approximately.

**Key words:** *yam, modified atmosphere, plastics films, products minimumly processed, life in shelf*

## INTRODUCCION

El ñame (*Dioscorea spp*) es un tubérculo comestible originario de Asia, perteneciente a la familia *Dioscoreaceae*, género *Dioscorea*, el cual se presenta como una enredadera y se caracteriza por la presencia de tubérculos subterráneos y/o aéreos (bulbillos), los cuales junto con la papa, la yuca, la arracacha y la batata contribuyen a los requerimientos energéticos y de nutrición de más de dos mil millones de personas en África, Asia y América Latina (Scott, *et al.* 1996).

En Colombia, es considerado como un producto básico dentro de las costumbres alimenticias de los habitantes de la Costa Atlántica, principalmente dentro de la economía de poblaciones localizadas en los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar, situación que lo ha colocado muchas veces como un alimento regional. Sin embargo, en los últimos años el tubérculo ha logrado posicionarse en el mercado nacional e internacional principalmente por su consumo en los Estados Unidos y el Caribe (Perea y Buitrago, 2000). Además, su adaptabilidad a una amplia gama de usos: seguridad alimentaria, alimentos básicos (para consumo fresco y en forma procesada), cultivos comerciales, para alimento animal y como materia prima para fines industriales, entre otros; lo han convertido en un producto promisorio de exportación.

Actualmente se le conoce en casi todo el mundo y ha logrado alcanzar desarrollos productivos considerables principalmente en los países Africanos y del Caribe, sin embargo, en nuestro país el ñame no ha logrado alcanzar un desarrollo agroindustrial similar al de estos países. Hasta el momento la investigación orientada a su valoración como materia prima agroindustrial es escasa, está atomizada y no se ha difundido lo suficiente, situación que no ha permitido un adecuado desarrollo de tecnología en torno a él.

Por otro lado, este tubérculo, en lo que concierne a nuestro país, enfrenta un gran número de problemas que se ven reflejados principalmente en las pérdidas que sufre durante la postcosecha y la comercialización, esto debido en primer lugar a que se carecen de sistemas adecuados de conservación, empaque y logística que le puedan brindar al producto condiciones favorables antes de llegar a su destino final. De igual manera, la forma y el tamaño de los ñames se han convertido en un problema de la comercialización, ya que se exigen por parte de los comercializadores formas uniformes y tamaños no mayores de 6 Kg por unidad (Sánchez y Hernández, 1997).

En vista a lo anterior, se ha sentido la necesidad de realizar estudios encaminados a identificar alternativas prácticas y modernas de empaque y conservación que permitan un acondicionamiento eficiente del tubérculo, el cual posibilite poder llevarlo con una mejor presentación y calidad hasta los mercados finales, con las ventajas adicionales que generaría el mayor valor agregado incorporado a él.

En los últimos años el consumo de productos mínimamente procesados ha aumentado considerablemente, especialmente en la comercialización de frutas y hortalizas troceadas y empacadas. La producción y comercialización de frutas y hortalizas procesadas en fresco, se está desarrollando de forma muy rápida, con gran trascendencia económica. Estos relativamente nuevos productos han atraído el interés de la industria alimentaria, incluyendo tanto a fabricantes como distribuidores y vendedores, pero también a las empresas de *catering*, establecimientos de comida para llevar, e incluso a todo tipo de restaurantes, como respuesta a una creciente demanda por los consumidores, (Aguayo, *et al.* 2001).

Los consumidores modernos desean alimentos tan frescos como el día en que fueron empacados, igualmente ejercen una demanda creciente y

selectiva de productos que le brinden seguridad. La búsqueda de productos “higiénicamente” frescos y de alta calidad, ha inducido a uno de los crecimientos más importantes en el sector de la moderna distribución al por menor de productos refrigerados. Durante las últimas décadas se ha producido, en éste contexto, el rápido crecimiento del desarrollo del empaquetado de alimentos en atmósfera modificada. Cada vez son más las restricciones al uso de químicos para la preservación de alimentos, ya que estos pueden dejar residuos, por lo que constantemente se buscan alternativas en forma de tratamientos físicos, como es el uso de bajas y altas temperaturas, irradiaciones, atmósferas modificadas y controladas. La conservación de frutas y hortalizas en envases o empaques con atmósferas modificadas es una de las técnicas más importantes para reducir pérdidas y mantener la calidad. Alta humedad relativa, baja concentración de O<sub>2</sub> y alta de CO<sub>2</sub>, pueden potencialmente, reducir la tasa respiratoria, la sensibilidad al etileno y su producción, así como también reducir los cambios fisiológicos como la oxidación, alargando el almacenamiento de estos productos.

En consecuencia, el objetivo del presente trabajo consistió en analizar y evaluar el comportamiento del ñame mínimamente procesado (troceado) al empacarlo en películas poliméricas y bajo condiciones de atmósfera modificada, con el fin de determinar las condiciones específicas de empaque y conservación en atmósfera requeridas para prolongar la vida en anaquel de esta forma de presentación del producto. Para ello, se estudió la variedad ñame espino (*Dioscorea rotundata* Foir), la cual se expuso a diferentes condiciones de empaque y conservación hasta definir la mejor opción.

# 1. ESTADO DEL ARTE

## 1.1. GENERALIDADES SOBRE EL ÑAME (*Dioscorea spp*)

### 1.1.1. Origen

El ñame (*Dioscorea spp*) es una planta originaria del Asia lejana la cual se cultiva hace más de 2000 años. Llevada al África probablemente por obra de los pueblos árabes en su expansión hacia el occidente, era para el siglo XIV alimento básico de la negritud ubicada sobre todo en la Costa Oeste Africana. En América y en Colombia se cultiva desde la llegada de los primeros barcos españoles cargados de esclavos africanos, de allí que normalmente se asocie con las culturas negras (Álvarez, 2000). Otros autores como Pérez (2000) afirman en señalar que al parecer el ñame es oriundo de la zona tropical americana. Cuando los españoles vinieron a América, se encontraron con que los indígenas antillanos utilizaban este producto como su alimento, caso de los Aztecas en México quienes consumían raíces de este tipo. Evidencias arqueológicas indican que en Colombia se consumían algunos ñames, posiblemente *Dioscorea trifida* L., 7.000 años antes de nuestra era (Álvarez, 2000). Lo que indica que al parecer el consumo de ñame en Colombia ha tenido mayor aceptación que lo que normalmente se ha creído.

### 1.1.2. Taxonomía

Cuando el famoso naturalista sueco Linneo, padre de la mayor parte de la nomenclatura botánica, publicó en 1753 su *Species Plantarum*, bautizó a una numerosa familia de tubérculos naturales de las regiones intertropicales con el nombre de *Discoreaceas* en honor al médico griego **Dioscórides** conocido por su "*Materia Médica*", escrita bajo el reinado de Nerón de cuyas regiones fue galeno. El ñame nombre con el cual se conoce es de origen bantú, en cuyo idioma, según los lingüistas, se empleaba el vocablo *nyam* como raíz con el significado de "comer" y, asimismo, de "alimento comida". Es probable que se trate de la

onomatopeya del ruido (*ñam-ñam*) que se hace al masticar (Lovera, 2004).

**Tabla 1.** *Clasificación taxonómica del ñame (Dioscorea spp)*

---

<i>Reino:</i>	Vegetal
<i>División:</i>	Espermatofita
<i>Subdivisión:</i>	Angiosperma
<i>Clase:</i>	Monocotiledónea
<i>Orden:</i>	Dioscoreales
<i>Familia:</i>	Dioscoreaceae
<i>Género:</i>	Dioscorea
<i>Especie:</i>	Varias

---

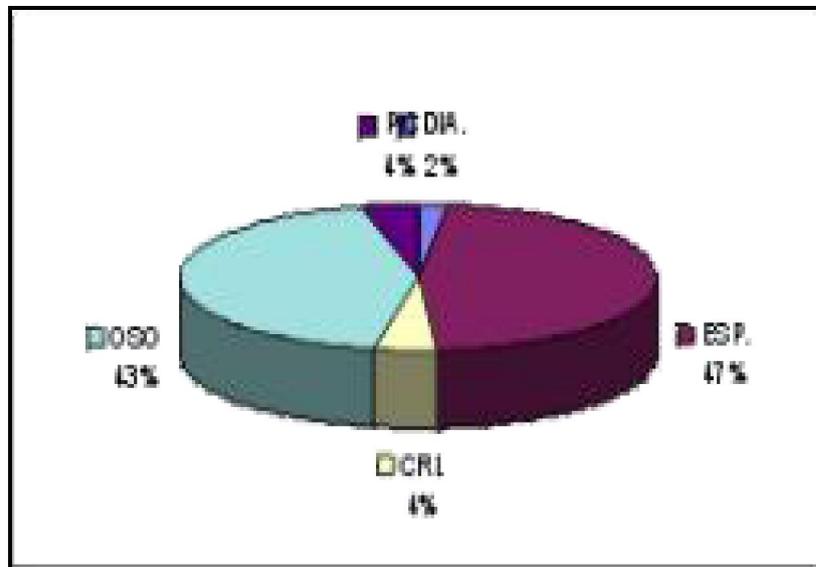
*Fuente: Álvarez (2000)*

La familia *Dioscoreaceae* posee 5 géneros, destacándose el género *Dioscorea* con más de 600 especies; de las cuales sólo 12 son cultivadas en el ámbito comercial, siendo *Dioscorea alata* L. la más ampliamente distribuida a nivel mundial (Álvarez, 2000). Así mismo, el género *Dioscorea* ha sido dividido en varias secciones entre las que sobresalen *Enantiophyllum* (*D. alata* y *D. rotundata*), *Combillium* (*D. esculenta*), *Lassiophyton* (*D. dumetorum*), *Osophyton* (*D. bulbífera*) y *Macrogynodium* (*D. trifida*) enfatiza Álvarez (2000).

En Colombia se pueden encontrar varias especies de ñame como: ñame criollo (*Dioscorea alata*), ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir), ñame papa (*D. bulbífera* Burkill), ñame azúcar (*D. esculenta*) y ñampin (*D. trifida* L.). Se considera que *D. alata* y *D. rotundata* son las especies de mayor importancia tanto por el área sembrada, como por la demanda del tubérculo, seguida por *D. trifida*. Las otras especies figuran como simples curiosidades (Álvarez, 2000). En Córdoba y Sucre, se destacan como las variedades más sembradas: ñame criollo, diamante, oso, pico de botella y espino. En Bolívar se siembra ñame espino preferencialmente. La Figura 1 indica los porcentajes con que la población mencionada siembra las

variedades de ñame. Sobresalen las variedades oso y espino. (Sánchez y Hernández, 1997).

**Figura 1.** *Variedades de ñame cultivadas en Córdoba, Sucre y Bolívar*  
*PIC: Pico de botella, DIA: Diamante, CRI: Criollo, ESP: Espino*



*Fuente: Sánchez y Hernández (1997)*

### 1.1.3. Descripción de la planta

El ñame es una planta monocotiledónea, que presenta algunas características de las dicotiledóneas; su tallo es herbáceo y trepador, y puede alcanzar varios metros de longitud. Se caracteriza por presentar cuatro pliegues o alas que tienen una coloración rojiza en la parte basal. Sus hojas son de tamaño mediano, largamente pecioladas y de forma acorazonada; se disponen de manera opuesta y/o alterna en la misma planta. La parte aprovechable de la planta es un tubérculo de forma y tamaño variable dependiendo del cultivar, el cual contiene fécula abundante (Álvarez, 2000).

Este tubérculo tiene la capacidad de formar su sistema caulinar a partir de una capa de células meristemáticas localizadas en la corteza. Esta característica se aprovecha para la propagación vegetativa de la especie a partir de secciones de tubérculo. El ñame es una planta dióica, con flores imperfectas producidas en plantas diferentes; por tanto, existen

plantas masculinas y femeninas. Como se trata de una especie de propagación vegetativa, se tienen clones o cultivares masculinos y femeninos, y otros que no florecen (Álvarez, 2000).

#### **1.1.4. Ecología y adaptación**

Aunque normalmente son plantas típicas de las regiones tropicales y subtropicales, algunas de estas especies pueden vegetar bien en los climas templados o cálidos; sin embargo sus rizomas son resistentes al frío, siempre y cuando estén en el suelo (Pérez, 2000). Se desarrolla mejor con temperaturas medias entre 25 y 30°C y para obtener máximos rendimientos necesita de abundante agua, entre 1500 y 2000 mm/año. El período crítico para mantener la humedad es durante los cinco primeros meses de desarrollo; pasado este tiempo, el exceso de humedad puede ocasionar pudrición de los tubérculos. Requiere abundante luz para obtener mayor producción, un período de 12 horas con luz es adecuado; de igual forma se requiere de suelos francos, sueltos, profundos, con buen drenaje, pH alrededor de 6,0 de buena fertilidad y con alto contenido de materia orgánica.

#### **1.1.5. Valor nutricional**

Las plantas pertenecientes a esta familia se caracterizan por poseer tubérculos carnosos o rizomas llamados *ñame*, los cuales poseen un alto contenido calórico. Se calcula que cada 100 mg de ñame cocido aporta 116 calorías (CCI. 2000). y que el ñame comestible aporta hasta un 12% de los recursos energéticos para los habitantes de regiones caribeñas y africanas Perea y Buitrago (2000). Este tubérculo es rico en carbohidratos; minerales, fibra y en vitaminas tales como carotenos, niacina, ácido ascórbico, riboflavina, y tiamina (*Véase tabla 2*). Sin embargo comparado con otras fuentes de carbohidratos, resulta ser ligeramente inferior en proteínas que los cereales y la papa, pero ostensiblemente mayor que el plátano y la yuca (*Véase anexo A*).

**Tabla 2.** *Contenido nutricional de diferentes especies de ñame (Dioscorea spp) en 100 gramos de rizoma*

<b>Nutrientes</b>	<b>D. spp</b>	<b>D. alata</b>	<b>D. bulbífera</b>	<b>D. esculenta</b>	<b>D. rotundata</b>	<b>D. trífida</b>
Calorías	119	135	78-112	102-112	71	
Agua (ml)	69	65	71	70	80	80.7
Proteína (g)	1.9	2.3	1.5	1.5-3.5	1.5	2.54
Grasa (g)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.44
Carbohidratos (g)	27.8	31	18-26	25	16	38
Fibra (g)	0.8	1.5	0.9	0.5	0.6	-
Calcio (mg)	52	28	40-69	62	36	8
Fósforo (mg)	61	52	-	53	17	38
Ceniza (mg)	0.8	1.6	-	0.8	5.2	0.52
β-caroteno (μg)	10	10	-		-	-
Tiamina (mg)	0.11	0.05	-	0.10	-	-
Riboflavina (mg)	0.02	0.03	-	0.01	-	-
Niacina (mg)	0.3	0.5	-	0.8	-	-
Ac. Ascórbico (mg)	6	12	-	15	-	-

*Fuente: Opara (1999) en Mejía y Parrucci (n.f.)*

Los tubérculos de ñame suelen contener además la mayor parte de los aminoácidos esenciales: arginina, leucina, isoleucina y valina; en menor cantidad histidina, metionina y triptófano (*Véase tabla 3*). El contenido de proteína es del 11.21%, considerando que la cantidad de ñame que se consume en África es suficiente para proveer la tercera parte de la proteína básica requerida por un adulto (Perea 2000). Sin embargo, por el contenido de taninos en los tubérculos, el valor nutricional del ñame tiende a reducirse como verdadera fuente de proteínas, pues el tanino puede combinarse con la proteína y convertirse en un alimento no disponible.

**Tabla 3.** *Aminoácidos esenciales en cultivares de diferentes especies de ñames (gramos de aminoácido por 100 g de proteína)*

<b>Aminoácidos</b>	<b>D. alata</b>	<b>D. bulbífera</b>	<b>D. esculenta</b>	<b>D. rotundata</b>	<b>D. trífida</b>
Leucina	7.5	10.0	8.6	7.6	8.6
Lisina	5.2	4.3	4.0	5.4	4.6
Metionina	1.9	0.8	1.6	1.5	1.3
Cistina	0.5	2.2	0.5	1.8	1.6
Fenilalanina	5.8	6.2	5.9	6.1	5.2

Treonina	4.2	5.0	3.9	3.9	5.0
Tirosina	3.2	2.4	3.0	2.8	3.1
Valina	4.2	6.3	5.3	4.6	5.1
Isoleucina	3.7	4.8	4.3	4.2	3.9
Triptófano	0.6	0.2	1.1	0.3	0.2

Fuente: Martín, F.W. y Degras, L. *Tropical yams and their potenciales*. USDA, 1978. En Montaldo et al. (1984).

### 1.1.6. Usos y utilidades

Los cultivos de raíces y tubérculos son muy versátiles y ofrecen, por ello, muchas oportunidades para desarrollar productos. En relación con otros tubérculos, el ñame posee una característica que lo coloca por encima de los demás, cual es su capacidad de almacenamiento a condiciones ambientales hasta por ocho meses, característica que no sólo le da grandes posibilidades para su mercadeo y consumo fresco, sino que lo convierte en un producto promisorio para la elaboración de una variada gama de productos de alta calidad tanto para la alimentación humana, animal, como materia prima para fines industriales.

Estos tubérculos tienen un sabor parecido al de la papa, de allí que se suelen utilizar de manera similar a estos, en la alimentación directa después de cocinados, en puré, en sopas y guisos. Se consume frito, forma en la que se preparan hojuelas crocantes; también se preparan bebidas donde el ñame le da a éstas el cuerpo (similar al néctar de pera), mermeladas, dulces y conservas. En el África, este tubérculo se usa en la preparación de "fufu", alimento tradicional en estos pueblos, que consiste en una masa elástica elaborada con ñame cocido, molido y amasado a partir de la cual se pueden elaborar diversos platos como buñuelos, tortillas, galletas, postres, panes, dulces, entre otros. En toda la "Zona del Ñame" del África Occidental, especialmente las Islas del Atlántico, los ñames se envuelven en hojas verdes con otros ingredientes, tales como crema de coco y pollo o pescado, y luego se asan en hornos (Terry *et al.* 1983).

Esta gran variedad de usos a nivel culinario y sus excelentes propiedades lo han convertido de igual manera, en un producto excelente para la elaboración de harinas y almidones, que pueden reemplazar parcialmente la harina de trigo (30-40%) en la industria panificadora y complementar hasta un 50% las raciones de harina de maíz amarillo en gallinas ponedoras (Ramírez *et al.* 1990). Finalmente es importante resaltar que, con algunas excepciones, el mercado para *snacks* derivados del ñame y la yuca aún está siendo explorado más allá de las zonas tradicionalmente étnicas como Miami, en donde se venden chips y congelados de yuca. Tales productos pueden tener un rápido desarrollo debido a la popularidad que tiene en Estados Unidos los *snacks* elaborados a partir de papa, maíz y otros productos con contenidos de almidón como el ñame.

Sastri (1954) citado en Montaldo *et al.* (1984) sugiere la extracción de alcohol de ñame, pero esto no ha tenido desarrollo debido posiblemente por los altos costos de producción de la materia prima. Otros autores como Coursey (1967) citado en Montaldo *et al.* (1984), Ramírez *et al.* (1990) y Pérez (2000), se refieren al uso de los ñames para extracción de *Diosgenina*, fuente importante de esteroides sapogénicos, de uso en la industria farmacéutica para la obtención de productos hormonales, corticoides, anabólicos, anticonceptivos y hormonas para control biológico (Huerta, 2001).

#### **1.1.7. Zonas productoras**

El área mundial cultivada comprende tres regiones principales: África Occidental, Asia Sudoccidental incluyendo parte de China, Japón, Oceanía; y América Latina. En África Occidental el área de producción de ñame abarca principalmente la Costa de Marfil, Ghana, Togo, Benin y Nigeria; siendo ésta última la zona de mayor producción a escala mundial; En América Latina es importante en Brasil, Colombia, Venezuela, Antillas

Francesas, Panamá, Jamaica, Haití, República Dominicana, Puerto Rico, Costa Rica, Barbados, Santa Lucía (Perea y Buitrago, 2000).

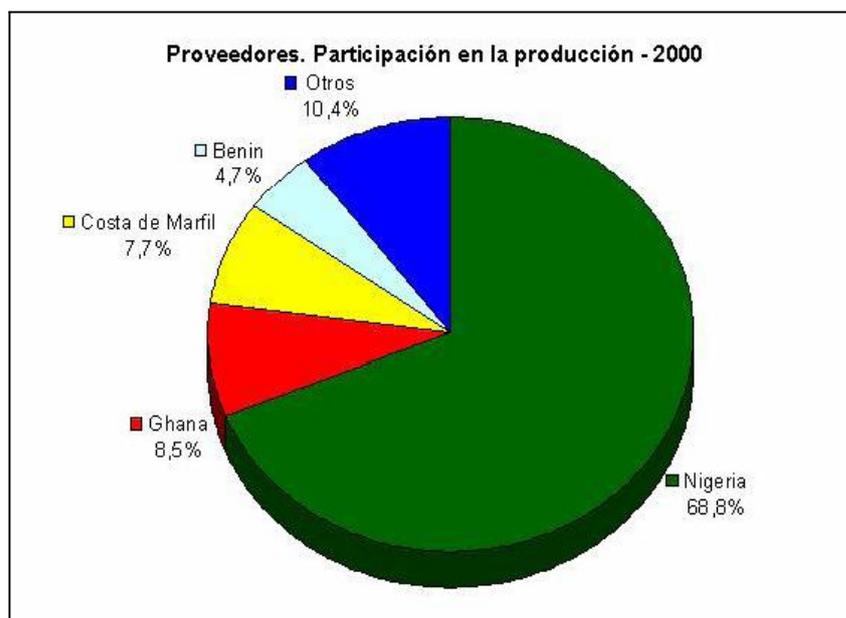
**Figura 2. Área y rendimiento mundial**



Fuente: <http://www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Tuberculosis/NAME/name02.htm>

De acuerdo a cifras arrojadas por la Corporación Colombia Internacional (2002); para el año 2000 la producción mundial de ñame estimada fue de 38'094.432 Ton para un rendimiento de 9.5 Ton/Ha (*Veáse Figura 2*) y un crecimiento anual de 4.7%; siendo los principales productores: Nigeria (26'201.000 Ton), Ghana (3'249.040), Costa de Marfil (2'927.175 Ton) y otros países africanos que en conjunto concentran alrededor del 96% de la producción mundial. Los países americanos participan con el 2% de la producción mundial y entre ellos se destacan Brasil (0.6%) y Colombia (0.4%). Por su parte los países asiáticos tienen una producción mínima y solamente Japón y Filipinas son productores (*Veáse figura 3*).

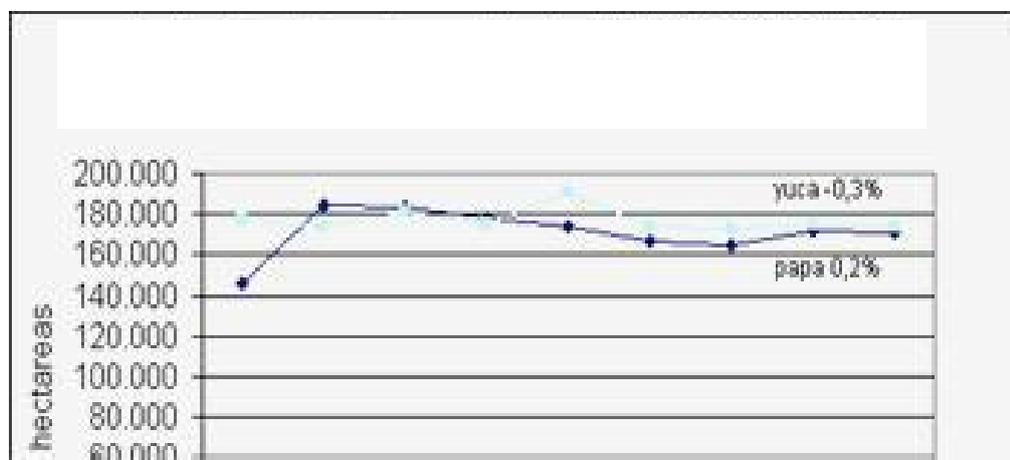
**Figura 3. Proveedores, participación en la producción – 2000**



Fuente: <http://www.cci.org.cc/Manual%20del%20Exportador/Tuberculos/NAME/nameC2.htm>

Colombia registra en el grupo de los tubérculos, compuesto por papa, ñame y yuca, que las mayores áreas cosechadas en el año 2000 correspondieron a la yuca, 173.562 Ha y a la papa, 170.498 Ha. El tercer producto, el ñame, con un área cosechada en el 2000 de 22.862 Ha, presentó la mayor tasa de crecimiento del periodo (*Veáse figura 4*); siendo la región de la Costa Atlántica la principal zona donde se registran las mayores producciones del país. Sin embargo y de acuerdo a cálculos realizados por Asohofrucol (2004), las hectáreas sembradas para el año 2002 fueron de 21.678 Ha, presentándose una disminución del 5% con relación al área sembrada durante el 2000 y una producción (Ton) de 238.584.

**Figura 4.** *Evolución y tasa de crecimiento del área cosechada de los tubérculos en Colombia entre 1992 y 2000*



*Fuente: [http://www.cci.org.cc/Manual%20del%20Exportador/Desempeno\\_proa/de\\_sempeno05.htm](http://www.cci.org.cc/Manual%20del%20Exportador/Desempeno_proa/de_sempeno05.htm)*

Se estima que el consumo per cápita de este tubérculo en la Costa Atlántica es de 27 Kg/año y que su cultivo se considera restringido para esta región (Perea y Buitrago, 2000); destacándose como principales áreas productoras: la zona costera del departamento de Córdoba, la subregión natural de los Montes de María en los departamentos de Sucre y Bolívar, y algunos municipios de los departamentos del Atlántico, Cesar, la Guajira y el Magdalena. Sin embargo, se tiene conocimiento de la siembra de esta planta en áreas como Ungía y Acandí en el departamento del Chocó y algunos otros departamentos del territorio Nacional, lo cual es una clara evidencia de la aceptación que tiene este tubérculo (Álvarez 2000).

En el departamento de Sucre la mayor producción se da en la subregión de los Montes de María, destacándose los municipios de Colosó, Chalán, Ovejas, Morroa y Toluviejo; y en la subregión Sabanas, donde se destacan los municipios de Sampués, Sincelejo, Corozal y Sincé. De acuerdo a cifras registradas por el URPA (2001), el área sembrada para cosecharse en el departamento para el 2001 fue de 3.582 Has, de las cuales se cosecharon 3.125 Has con un rendimiento de 9.270 Kg/Ha para una producción de 28.969 Ton. Con respecto al año 2000, se presentó un

incremento del área sembrada de 9.2%, mientras la cosechada, la producción y el rendimiento bajaron en 3.2%, 8% y 5% respectivamente.

#### **1.1.8. Tecnología de cosecha y postcosecha**

**Cosecha.** La cosecha de ñame se hace en diferentes épocas según la localidad y la variedad, procurando siempre hacerla lo más tarde posible, pues así el desarrollo de los rizomas es mucho mayor; sin embargo se puede cosechar a los 6 o 8 meses de siembra cuando el tallo y las hojas se marchitan y se doblan. El ñame puede ser cosechado mecánicamente o manualmente. La cosecha mecanizada puede acarrear un incremento en daños al tubérculo, el nivel del cual dependerá de la profundidad de la pala usada, la velocidad y las condiciones del suelo en el momento de la cosecha. La cosecha manual se efectúa utilizando cavadores, barretones o palancas. Para ello se cava alrededor del tallo evitando al mínimo contacto con el rizoma o se corta el tallo a nivel del suelo y se arranca a profundidad.

**Lavado y desinfección.** Los ñames se suelen limpiar dependiendo la finalidad. Si se van solo a almacenar, éstos se limpian (sin agua) desechando fuera la tierra y otras ruinas impregnadas en la superficie; para ello se suele utilizar normalmente un cuchillo o pedazo de palo (Mejilla y Parrucci, n.f.). Las raíces vellosas también se eliminan para que el tubérculo tenga una superficie lisa. No debe usarse agua para limpiar los tubérculos antes del almacenamiento debido a que se aumenta la susceptibilidad a la contaminación microbiana. Por otro lado, si la finalidad inmediata es la comercialización principalmente exportación, antes de empacarse los tubérculos se suelen lavar a mano con agua y se sumergen en una solución de 0.05% de Thaibendazole por 15 a 30 segundos (Mejilla y Parrucci, n.f.).

**Almacenamiento.** Los tubérculos de ñame una vez recolectados pueden almacenarse por varios meses; generalmente, ésta se da durante la

temporada más seca y caliente del año, en la que tiene gran importancia la ventilación y otros factores que contribuyen a bajar la temperatura del producto. Los ñames gigantes y blancos en buen estado pueden almacenarse durante varios meses en condiciones adecuadas. Los ñames amarillos, por su muy corto período de latencia, se prestan menos al almacenamiento. Aunque puedan someterse a un almacenamiento prolongado, los ñames van encogiéndose paulatinamente como consecuencia de la pérdida de agua y de los procesos vitales naturales, que consumen la materia seca almacenada (almidón).

Los procedimientos de almacenamiento de ñame son diferentes de un país a otro; por el carácter generalmente no comercial de la producción y lo limitado de los recursos de que disponen los agricultores, los métodos de almacenamiento suelen ser de bajo costo. Sin embargo, en la mayoría de las regiones donde se cultiva el ñame se han desarrollado sistemas tradicionales de almacenado eficientes. Estos pueden consistir en dejar los tubérculos en el terreno o en apilarlos apenas se cosechan debajo de rocas, en los pisos de la casa, dentro de cabañas, bajo las casas construidas en altura o debajo de terreno y humus. En algunas partes de África Occidental se construyen estructuras especiales para el almacenado, las cuales consisten en un marco vertical de madera con piezas transversales de bambú o costillas de las hojas de palmera, en las cuales los tubérculos se amarran individualmente a la estructura.

En algunos países para evitar la podredumbre en los tubérculos por las magulladuras sufridas en la recolección e incrementar el tiempo de vida inmediatamente después de la cosecha, las raíces son sometidas a un curado en cámaras ventiladas a una temperatura entre 27-29.5 °C, con una humedad relativa de 85-90% durante 7 días (Pérez, 2000). Mientras dura el proceso, las condiciones de temperatura elevada y humedad propician el crecimiento de capas externas en la piel. Entonces, las grietas existentes se sellan, lo que previene la entrada de microorganismos y, por lo tanto, ayuda a inhibir el deterioro. Los

tubérculos que suelen curarse son la yuca, el camote y, principalmente, el ñame. En Papua Nueva Guinea (África) los tubérculos se apilan en plataformas en un área oscura de la casa donde el calor y la humedad de la cocina permiten el curado (Mejía y Parrucci, n.f.).

Por otra parte, se ha establecido que la aplicación de ácido giberílico ( $GA_3$ ) a tubérculos de ñame reduce eficientemente las pérdidas postcosecha, ya que retrasa los procesos de respiración y evaporación, así como pérdidas de reservas energéticas durante el almacenamiento (Tschannen, 2003). Sin embargo, actualmente esta técnica no se está implementando posiblemente debido a la viabilidad económica de los métodos de aplicación y a que aun se encuentra en evaluación, ya que estudios realizados han mostrado que la aplicación de  $GA_3$  a los tubérculos de ñame puede afectar la calidad culinaria de algunas especies, en especial *D. aiata* (Tschannen, 2003).

En Colombia principalmente en la Costa Atlántica, el ñame se almacena en una pieza que forma parte de la vivienda del productor. Estas poseen piso de tierra, paredes de bahareque o de caña y techo de palma; algunos productores colocan pedazos de madera formando un piso sobre el cual arruman. El almacenamiento de ñame es una labor casi exclusiva del agente mayorista que también limpia, clasifica, selecciona, empaca y transporta el producto de conformidad con las exigencias de los distintos mercados. (Sánchez y Hernández, 1997).

***Empaque y embalaje.*** Una vez recolectados los ñames, estos se suelen transportar hasta el centro de acopio o almacenamiento usando cajas de recolección de campo o costales de aproximadamente 50 Kilogramos de capacidad, aunque en muchos lugares de producción muchas veces los sacos se consideran inadecuados ya que aumenta la fricción y por ende el nivel de daño a la piel del producto. El ñame puede ser empacado en cajas de cartón de dos piezas, totalmente telescópicas, (del tipo usado para el Banano); preferiblemente de doble pared, o cajas de cartón parafinado de una pieza con tapadera de auto cierre (self-locking).

En Córdoba, Sucre y Bolívar, para la comercialización el ñame es seleccionado por peso y tamaño, el menor de 2 Kg se utiliza para semilla, el ñame con peso entre 2 y 6 Kg y con corteza lisa se destina a la exportación, el resto va a los mercados locales y para consumo del productor. Generalmente, para esta actividad no se utilizan empaques especiales, se suelen usar costales o cajas de cartón, los cuales suelen ocasionar la mayoría de las veces maltrato del producto por la fricción durante el manipuleo. Los minoristas y supermercados empacan en bolsas plásticas; los exportadores y cooperativas utilizan cajas de 25 Kg, lo que en ocasiones permite un mejor manejo y embalaje del producto (Sánchez y Hernández, 1997).

La forma y el tamaño del ñame, así como la falta de un empaque apropiado, se han convertido en un problema de la comercialización, porque se exigen formas uniformes y tamaños no mayores de 6 Kg por unidad. En síntesis, la utilización de sistemas inadecuados de empaque y conservación sumada a las pérdidas durante el almacenamiento y a otras fallas en la comercialización, inciden en los precios y la baja rentabilidad del producto al ser colocados en el mercado.

De acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 1269, para la comercialización de ñame, el peso debe ser de 50 Kg y podrán empacarse ñames en sacos u otro material flexible, siempre que sean nuevos de 92 cm x 70 cm. Los empaques de fique deberán tener 16 hilos de urdimbre de 10 cm y 14 hilos de trama en 10 cm, identificados con un viso azul de 6 hilos de ancho. Los materiales utilizados deberán estar limpios y no ocasionar ningún tipo de alteración al producto (CCI, 2002).

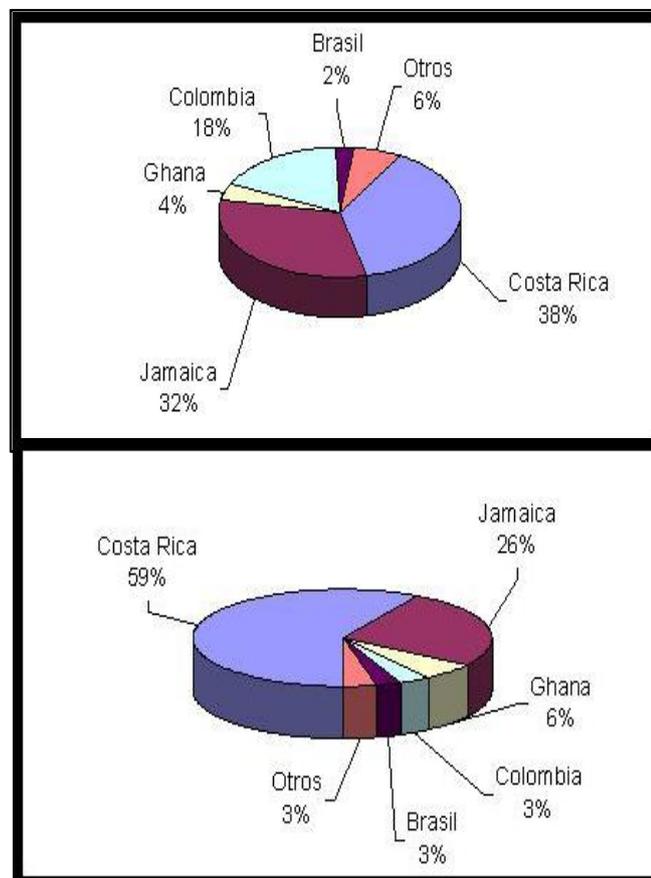
***Transporte.*** El transporte del campo al centro de acopio es una labor propia del productor quien generalmente lo hace el mismo o utiliza otros medios como animales o carretas. Para la comercialización nacional, generalmente esta se hace vía terrestre, mientras que para la exportación

esta se da vía aérea, si la viabilidad técnica y económica lo permite, o vía marítima en contenedor refrigerado (13°C).

### 1.1.9. Mercadeo y Comercialización

El ñame es un producto que generalmente se suele comercializar en los mercados internos de cada país productor, sin embargo, en los últimos años el tubérculo se ha ido posicionando en los mercados internacionales, impulsado por la presencia de poblaciones étnicas en países que son importantes mercados, como en el caso de los Estados Unidos; país al que se destina el 70% de las exportaciones mundiales de ñame (CCI, 2000). Las importaciones estadounidenses de esta raíz han tenido un crecimiento relativamente estable (una tasa promedio anual del 2.4%), pasando de 21,666 toneladas en 1994 a 24,511 en 1998. En la Figura 5 se observa la evolución de la participación de los países proveedores de este mercado entre 1994 y 1998.

**Figura 5.** *Importaciones de ñame en el mercado de Estados Unidos en 1994 y 1998 respectivamente (Toneladas)*



*Fuente: STAT-USA. Cálculos: Corporación Colombia Internacional (2000)*

De acuerdo con la Corporación Colombia Internacional (2000), el ñame fresco se destina principalmente al segmento de mercado étnico, compuesto por hispanos, asiáticos y africanos, que representan no sólo una proporción cada vez más alta de la población de Estados Unidos (por ejemplo, los hispanos representan un 11% de la población total y se espera que en cinco años esta proporción suba al 13%) sino que también gastan más dinero en alimentos que los nativos (Los hispanos destinan US\$ 3,370 per cápita anual en alimentos y los nativos US\$ 2,803, según cifras de 1999). El ñame comparte esta fracción del mercado con otras tuberosas demandadas también por dichas etnias, tales como taro, boniato, malanga y yuca, entre otras.

Los principales importadores de ñame son, Estados Unidos, Puerto Rico, Venezuela y, en proporción mucho menor, algunos países de la Unión Europea como Inglaterra, Francia, España y Alemania. Los principales exportadores son Colombia, Costa Rica, Jamaica, Brasil y Ghana. Colombia, sólo exporta alrededor del 1% (*veáse figura 5*) de la producción mundial, siendo Estados Unidos y Venezuela los principales mercados; mientras que a nivel nacional la penetración del consumo de este producto en áreas distintas a la Costa Atlántica es muy limitada; siendo los principales mercados locales: San Andrés, Maicao, Barranquilla y Cartagena.

Nuestro país exporta a Estados Unidos ñame variedad blanca, muy similar al de Costa Rica, siendo el colombiano ligeramente de mayor tamaño y más dulce. A pesar de que el ñame de Colombia cuenta con

gran reconocimiento entre los consumidores por que tiene mejor sabor, es el país que registra la mayor pérdida de participación en este mercado, con una disminución en promedio anual del 41% (CCI, 2000).

Este comportamiento se explica por la fuerte competencia con el producto procedente de Costa Rica que ha tenido precios menores y más competitivos frente al producto colombiano de allí que se haga necesarios crear nuevas alternativas de presentación y mercadeo para el ñame colombiano, el cual permita poder posicionarlo en los mercados internacionales y aprovechar a la vez sus grandes potencialidades, ya sea en fresco, mínimamente procesado o procesado en productos finales.

Dentro de las variedades, encontramos que el ñame criollo (*Dioscorea alata*) y ñame espino (*Dioscorea rotundata Foir*) son las más comercializadas. El ñame espino, por sus características de pérdida de peso rápida no se almacena, comercializándose inmediatamente después de cosechado, mientras que el ñame criollo presenta mejores características de conservación que permiten realizar las labores de selección, clasificación, limpieza y almacenamiento del producto y su comercialización directamente o a través de intermediarios (Sánchez y Hernández, 1997).

De acuerdo a las perspectivas del mercado y para el caso de Estados Unidos, teniendo en cuenta que no hay producción significativa de ñame y que las reexportaciones también son mínimas (solamente en 1998 se reexportaron 353 toneladas al Canadá) según información registrada por CCI (2000); se puede considerar que el tamaño aparente del mercado es equivalente a los niveles de importaciones. Sin embargo, un análisis comparativo entre las tasas de crecimiento de las importaciones, que fueron del 2.4% anual durante el período 1994-1999 y las tasas de crecimiento de la población hispana y asiática, 3.6% anual para el mismo

período, permiten vislumbrar la posibilidad de que aumenten las importaciones (CCI, 2000).

Como se puede observar, en el mercado de Estados Unidos la demanda está creciendo lentamente, pero de una manera estable. Este incremento se explica por el crecimiento de los grupos de población hispanos, caribeños, africanos y asiáticos, lo cual a su vez, ha llevado a que las cadenas de supermercados, como *Publix and Winn Dixie Supermarkets* de Florida, estén más interesadas en incluir entre sus productos alimenticios como el ñame, con el fin de atraer a los compradores de estos orígenes (CCI, 2000).

#### **1.1.10. Agroindustria**

Las experiencias de procesamiento del ñame son reducidas. En Colombia donde el 78% de la producción se dirige al mercado en fresco no se conocen transformaciones tecnológicas; mientras en África solo es tradicional la preparación de harina (Hurtado *et al.* n.f.). Sin embargo, se ha tratado de obtener algunos productos a base de este tubérculo y no se descarta la existencia de pequeñas industrias de conservas caseras y ocasionales, pero de trascendencia regional (Sánchez y Hernández, 1997)

Teniendo en cuenta la cierta repercusión que han tenido las industrias colombianas en el campo de los alimentos, se ha intentado porque el ñame ocupe un espacio en cuanto a la producción de harinas, concentrados y almidones. Más allá de esto no se ha explorado en nuestro país (Pérez, 2000).

A parte del potencial de la harina y productos derivados el ñame se puede convertir en almidón, principal componente de los rizomas con un 75% de

la materia seca. La extracción comercial del almidón fue considerada como no probable por Coursey (1967), por su viscosidad (presencia de mucílagos) y alto costo de producción. Sin embargo 24 años después Moorthy (1991) desarrollo una técnica para extraer el almidón de raíces y tubérculos mucilaginosos. El almidón nativo de ñame posee una resistencia excepcional a la esterilización que lo convierte en un recurso potencial para el desarrollo de productos que necesiten muy largos periodos de cocción. Sin embargo no han sido evidentes las publicaciones de procesamiento referentes al ñame para su uso industrial (Hurtado *et al.* n.f.).

## **1.2. GENERALIDADES SOBRE LA TECNOLOGÍA DE ATMÓSFERA MODIFICADA (AM)**

Desde hace muchos años se sabe que disminuyendo la concentración de oxígeno y/o aumentando la de dióxido de carbono se consigue ampliar la vida útil de los alimentos perecederos. El cambio en la composición de la atmósfera que rodea a los alimentos conlleva al almacenamiento de los mismos en contenedores, cámaras o envases con la atmósfera seleccionada. En el pasado, las tecnologías de conservación en atmósferas distintas al aire se empleaban en grandes almacenes, para el transporte en contenedores y en la distribución en grandes volúmenes.

Estas aplicaciones todavía continúan pero las tendencias actuales se dirigen hacia la adaptación de dichas tecnologías a los últimos tramos de la distribución de alimentos, como, por ejemplo, a nivel de comercio minorista o envasado en porciones para el consumo directo. Las preferencias crecientes de los consumidores hacia alimentos de una apariencia natural, frescos o mínimamente procesados unidas al gran avance experimentado por los materiales poliméricos han influido

poderosamente en el desarrollo que las tecnologías de atmósfera modificada han experimentado en las dos últimas décadas y que han posibilitado el suministro al detalle de un buen número de alimentos (Ordóñez *et al.* 1998). El uso de las AM para incrementar la vida útil de un producto no es un concepto nuevo y en la actualidad representa una de las alternativas de conservación más efectivas.

### **1.2.1. Antecedentes Históricos**

La técnica de Atmósfera Modificada (AM) es un proceso empleado desde hace mucho tiempo por los Chinos y los Egipcios entre otros, para preservar los diferentes alimentos (Wills *et al.*, 1977). Un antiguo poema chino del siglo VIII describe la gran afición de una emperatriz por los *lichis* (fruto provisto de cáscara dura con pulpa muy dulce). Ella pedía que lichis frescos le fueran llevados desde una distancia de 1000 Km. a caballo. Se dice que los transportistas descubrieron que los lichis se mantenían mejor si se colocaban dentro de una caña de bambú o vasijas de yeso herméticamente cerradas, en cuyo interior se colocaban también yerbas y hojas frescas. Es evidente que durante las dos semanas de transporte la respiración de las frutas, las hojas y las hierbas generaban una atmósfera rica en dióxido de carbono y pobre en oxígeno que retrasaba la maduración de los litchis (Wills *et al.*, 1997).

Quizás éste sea uno de los primeros documentos que mencionan el uso (de manera inconsciente) de atmósferas modificadas, pero no fue hasta el siglo pasado que se empezaron a comprender los efectos fisiológicos y bioquímicos de las modificaciones de la atmósfera. El empleo de atmósfera modificada para incrementar la vida útil, no es un concepto nuevo en la conservación de alimentos. La acción preservativa del dióxido de carbono sobre los alimentos, es conocida desde hace un siglo; sin embargo, la investigación básica no comprendió el empleo de las atmósferas modificadas para prolongar la vida útil de la fruta, carne y pescado, hasta las décadas de los años 20 y 30, cuando Brown (1922)

investigó el efecto de las distintas concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a distintas temperaturas sobre la germinación y crecimiento de los hongos productores de podredumbres en fruta. Cinco años más tarde, Kidd y West (1927) estudiaron el efecto de la modificación de la atmósfera sobre la vida en el almacenamiento de la fruta (Parry, 1993). Otros como Killefer (1930), Coney (1932), Ogilvy y Aynes (1951) realizaron estudios sobre el empleo de atmósfera modificada en distintos productos principalmente en carnes y pescados (Parry, 1993). Las primeras observaciones científicas sobre los efectos de la composición de la atmósfera sobre la maduración de las frutas recolectadas fueron hechas por Jacques Berard un profesor de Química de la Universidad de Montpellier, en Francia, entre 1819 y 1820 (Wills *et al.* 1997).

Es a partir de los años 70 cuando se introducen los envases conteniendo atmósferas modificadas, especialmente en Alemania (1973), Francia (1974) y Dinamarca (1978). El sistema de envase semirígido con termoformado horizontal – llenado - cerrado, fue inventado en 1963; en el Reino Unido, Mark & Spencer con sus ensayos para introducir en el mercado carne envasada en atmósfera modificada, prepararon el terreno para la actual primacía británica en el mercado de productos en atmósfera modificada. Durante los dos años siguientes ampliaron la gama de productos para incluir chuletas, carne cocinada fileteada, pescado fresco y ahumado, y mariscos cocidos. El éxito de estas iniciativas promovió rápidamente que los otros grandes distribuidores de alimentos, desarrollaran su propio catálogo de productos envasados en atmósfera modificada.

### **1.2.2. Conceptos sobre empaque en atmósfera modificada (MAP)**

La atmósfera modificada es una combinación de gases en la que se disminuye la concentración del oxígeno y se aumenta la concentración de otro gas (nitrógeno, dióxido de carbono). Este sistema de conservación permite almacenar alimentos frescos en una atmósfera distinta a la del aire para disminuir el crecimiento microbiano y reducir de forma

progresiva la velocidad de respiración de los productos. De igual manera, se evita el marchitamiento de los vegetales (pardeamiento enzimático), la principal causa de su deterioro bioquímico, que tiene como consecuencia la aparición de colores oscuros (pardos-negros) fácilmente observables en plátanos, champiñones, patatas y manzanas, debido a la oxidación. La conservación mediante atmósfera modificada o protectora reduce también las pérdidas de vitaminas y minerales que causan el lavado y cortado de las verduras (Consumer, 2002).

El MAP de las frutas y hortalizas es un proceso dinámico en donde el envase cerrado interactúa con el producto envasado (normalmente bajo un cuidadoso control de la temperatura) para finalmente alcanzar un equilibrio en la atmósfera gaseosa interna que reducirá la velocidad de respiración, la sensibilidad al etileno y la pérdida de humedad (por transpiración) así como aumentará la fase de latencia del desarrollo microbiano e incrementará el tiempo de la formación de la microflora (Schlimme y Rooney, 1997).

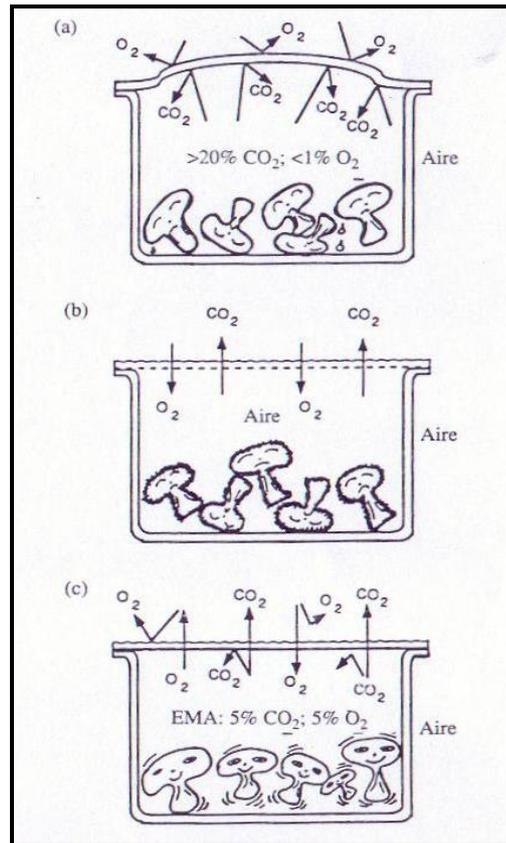
El MAP es un método de empaquetado que implica la eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por un gas o mezcla de gases. La atmósfera gaseosa cambia continuamente durante el periodo de almacenamiento, por la influencia de distintos factores, como respiración del producto envasado, cambios bioquímicos, y la lenta difusión de los gases a través del envase (Parry, 1993).

### **1.2.3. Principio de las atmósferas modificadas**

Esta técnica consiste en la conservación de frutas y hortalizas, ya sean enteras o cortadas, bajo films (películas) plásticos con una permeabilidad definida y su fundamento se basa en el cambio de las condiciones gaseosas iniciales del entorno inmediato del producto como consecuencia de su metabolismo y la barrera semipermeable que supone el embalaje (Romojaro *et al.*, 1996). Como se ha indicado, los frutos y hortalizas

recolectadas aumentan su metabolismo continuando los intercambios con la atmósfera. Cuando se encierran en un embalaje plástico de permeabilidad determinada, el proceso de respiración modifica la composición de la atmósfera interna inicial, empobreciéndose en O<sub>2</sub> y enriqueciéndose en CO<sub>2</sub> y en vapor de agua.

La modificación de la composición atmosférica conduce a una disminución de la velocidad de respiración del producto, si se introduce el producto en un envoltorio de film impermeable los niveles de O<sub>2</sub> en el envase disminuirían hasta bajas concentraciones en donde se iniciaría la respiración anaerobia (*veáse figura 6a*). La anaerobiosis con su acumulación de etanol, acetaldehído y ácidos orgánicos está asociada normalmente con olores y sabores que no son nada deseables, es decir, son desagradables, y este proceso se manifiesta en un marcado deterioro de la calidad del producto. Además hay un riesgo de crecimiento de microorganismos anaeróbicos patógenos tales como el *Clostridium botulinum*. Por lo tanto se recomienda un mínimo nivel de O<sub>2</sub> del 2-3% para estar seguros de que no se van a crear condiciones que van a ser potencialmente peligrosas para el producto (Day, 1993)



Fuente: Day, 1993

**Figura 6.** Representación esquemática de las tres perspectivas de los productos envasados en atmósfera modificada. (a) Film barrera: Condiciones anaerobias indeseables. (b) Film totalmente permeable: Modificación atmosférica no deseable. (c) Film de permeabilidad intermedia: Adecuada atmósfera modificada de equilibrio

Por otro lado, si las frutas o los vegetales están contenidos en un film de permeabilidad excesiva de  $O_2$ ,  $CO_2$  y  $N_2$ , resultará o una muy pequeña modificación o bien prácticamente sin modificación en la atmósfera dentro del envase (Veáse figura 6b). Además de esto, la pérdida de humedad causará un marchitamiento y arrugamiento dando lugar a un mal aspecto estético que no es nada deseable. Por lo tanto, los films completamente permeables no son los más recomendables para el envasado de productos frescos señala Barrales (1998). Pero si se elige un film de una correcta permeabilidad intermedia, se establecerá una adecuada atmósfera modificada de equilibrio cuando la velocidad de transmisión de  $O_2$  y  $CO_2$  a través del envase igualen la velocidad de respiración del producto, enfatiza Barrales (Veáse figura 6c).

#### **1.2.4. La atmósfera de equilibrio**

Después de un período inicial de adaptación a las nuevas condiciones atmosféricas se establece un equilibrio dinámico entre los gases producidos endógenamente en los distintos centros de acción enzimática de la célula y los gases del medioambiente que rodea al fruto. En este equilibrio, el porcentaje de consumo de O<sub>2</sub> y el desprendimiento de CO<sub>2</sub> equivalen al porcentaje de salida de estos gases a través del embalaje a una temperatura determinada (Romojaro *et al.* 1996).

La intensidad respiratoria del producto, características de permeabilidad del film, temperatura y humedad relativa determinan las condiciones de equilibrio de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> dentro del embalaje. Estos factores intervienen en el control de la atmósfera de equilibrio a diferentes niveles. El vegetal, en función de su naturaleza, intensidad respiratoria y masa; el film determina la velocidad de paso de los gases de acuerdo con su permeabilidad y superficie de intercambio y la temperatura afecta a los valores de la intensidad respiratoria y humedad relativa. Estos parámetros controlan el acondicionamiento del vegetal creando un equilibrio de gases en el interior del embalaje sobre el que no se puede intervenir a diferencia de la atmósfera controlada en donde se ejerce un control sobre el sistema para regular la atmósfera (Romojaro *et al.* 1996). Otros factores que puede influir en la formación de la atmósfera modificada de equilibrio en el interior del paquete son: un inadecuado llenado, que podría limitar la libre circulación de aire alrededor del paquete; la impresión del film y la colocación de etiquetas, que pueden disminuir también las posibilidades totales de intercambio de gas (Day, 1993).

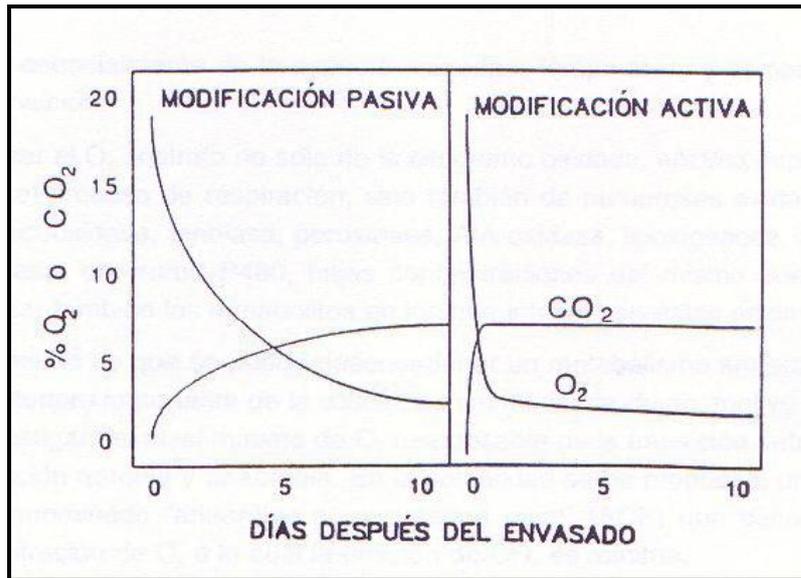
#### **1.2.5. Generación de la atmósfera modificada (AM)**

La atmósfera modificada puede estabilizarse mediante dos vías diferentes: activa, pasiva o la combinación de las dos (*Véase figura 7*).

El *envasado en AM pasivo* implica colocación de los productos en un envase permeable a los gases, cerrado del envase y a continuación permitir que la propia respiración de los productos origine una reducción de la concentración de  $O_2$  y un aumento de  $CO_2$  dentro del envase hasta que se alcance un adecuado estado de equilibrio. Si las características de respiración de un producto están adecuadamente ajustadas a los valores de permeabilidad de un film empleado para el empaque, se puede crear de forma pasiva, una atmósfera modificada favorable, cuando se establece la concentración de equilibrio de oxígeno y dióxido de carbono.

El *envasado en AM activo* implica colocación de los productos en un envase permeable a los gases, evacuación del aire del envase y su sustitución mediante una corriente con una mezcla preseleccionada de los gases  $O_2$ ,  $CO_2$  y  $N_2$ ; seguido por un cierre rápido del envase. La composición de gases que se utiliza se selecciona normalmente para lograr unos niveles óptimos de  $O_2$  y  $CO_2$  (con un balance de  $N_2$ ) al objeto de que disminuya rápidamente la velocidad de respiración aeróbica del producto o especialidades de productos refrigerados mínimamente procesados que estén siendo envasados (Schlimme y Rooney, 1997). El envasado en AM activo también puede incluir, la utilización de absorbentes o adsorbentes dentro del envase hermético para eliminar  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  y vapor de agua, así como la utilización de agentes antimicrobianos tales como el  $CO_2$ .

**Figura 7.** *Cambios relativos en las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  durante la conservación en atmósfera modificada activa y pasiva*



Fuente: Zagory y Kader, 1988 en Romojaro et al. 1996

### 1.2.6. Tecnología del empaque en atmósfera modificada (MAP)

El envasado y/o empaque en atmósfera modificada se emplea para prolongar la vida de almacenamiento de los productos perecederos. Por lo tanto, el objetivo principal en el diseño de un envase en atmósfera modificada es crear la atmósfera más adecuada para prolongar el periodo de almacenamiento del producto envasado, ya sea en su estado fresco o mínimamente procesado. La clave de un buen empaque está en manipular la cantidad de producto, el área superficial y el tipo de película con el objeto de llegar a un equilibrio en el cual el producto se preserve más tiempo sin llegar a los desórdenes que pueden causar las AM impropias (Hasting, 1993).

#### 1.2.6.1. Métodos de modificación de la atmósfera en alimentos empacados

Todas las técnicas de empaque en AM requieren el reemplazo de la atmósfera residual con un gas específico o una mezcla de gases. Esto puede ser realizado por dos métodos: el envasado al vacío y el envasado en gas.

**Envasado al vacío.** Es el método más simple y más común de modificar la atmósfera interna de un envase. El producto se coloca en un envase

formado con film de baja permeabilidad al oxígeno, se elimina el aire y se cierra el envase. El envase sin aire se pliega (colapsa) alrededor del producto, puesto que la presión interna es muy inferior a la atmosférica. Es la forma de envasado en atmósfera modificada desarrollada comercialmente en primer lugar, y todavía se emplea ampliamente para productos como: primeros cortes de carnes rojas frescas, carnes curadas, quesos duros y café molido (Parry, 1993). No está indicado para productos blandos o productos de panadería porque el proceso de aplicación del vacío provoca una deformación irreversible del producto. Debido a las propiedades barreras del film empleado, se limita la entrada de oxígeno desde el exterior; lográndose con unas buenas condiciones de realización de vacío, concentración de oxígeno hasta por debajo del 1%.

***Envasado en gas.*** La composición de la atmósfera hasta del espacio de cabeza, en un envase de atmósfera modificada, puede obtenerse por dos métodos fundamentales; remplazando mecánicamente el aire con un gas o mezcla de gases, o generando la atmósfera dentro del envase de forma pasiva como en el caso de frutas y hortalizas, o activamente empleando modificadores de atmósfera adecuados, como los absorbedores de oxígeno.

#### ***1.2.6.2. Principales materiales de empackado en AM para uso potencial con frutas y hortalizas mínimamente procesadas***

Durante décadas el empackado de productos frescos se ha realizado en películas poliméricas como forma de retener y proteger las frutas y hortalizas de los contaminantes ambientales. La utilización de estas películas para modificar la concentración de la atmósfera gaseosa de un empaque ofrece enormes posibilidades para aumentar la vida útil de los productos (Schlimme y Rooney, 1997).

Como empaques de frutas y hortalizas frescas se han utilizado diferentes películas plásticas que incluyen Polietileno de baja densidad (LDPE), Polietileno de alta densidad (HDPE), Polipropileno de calibre delgado (PP), Poliestireno (PS), varias clases de Cloruro de polivinilo (PVC) y Goma hidroclorada (pliofilm). En el Anexo B se muestran las películas poliméricas que más se usan para el empaque en atmósfera modificada de productos; así como datos acerca de la permeabilidad de estas al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua.

En cuanto a las características de selección de materiales de empaque, se deben considerar: la permeabilidad a los gases, velocidad de transmisión del vapor de agua a través de la película, propiedades mecánicas, tipo de empaque, transparencia, fiabilidad de la soldadura y adaptación al procesado en microondas (Day, 1993).

Los materiales de empaquetado para el empaque en atmósfera modificada de frutas y hortalizas deben tener suficiente fuerza para resistir la punción, soportar las flexiones sucesivas, y tolerar las tensiones mecánicas sufridas durante la manipulación y la distribución. Unas propiedades mecánicas pobres pueden provocar daños en el paquete y pérdida de la atmósfera interna. El tipo de paquete utilizado depende del tipo de producto a empacar en AM y cual es el destino del producto, venta al por menor o comercio de restauración.

### ***1.2.6.3. Gases utilizados en el empaque en atmósfera modificada***

Las principales características de cada uno de los gases más importantes en el envasado en AM de productos hortofrutícolas son:

***Oxígeno (O<sub>2</sub>):*** Probablemente el oxígeno es el gas más importante en éste contexto, siendo utilizado tanto por los microorganismos aerobios que provocan la descomposición, como por los tejidos vegetales, y participa en algunas reacciones enzimáticas en los alimentos. Por estas

razones, en el envasado en atmósfera modificada, se elimina o se reduce hasta niveles tan bajos como sea posible. Las excepciones; se presentan cuando es necesario para la respiración de frutas y hortalizas, la retención de color, como la carne roja, o para evitar las condiciones anaerobias en el caso del pescado blanco.

***Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):*** Debido a su elevada solubilidad en los alimentos, el CO<sub>2</sub> es el gas más usado en el empaque con AM. Este gas tiene propiedades bactericidas y fungistáticos, y retarda el crecimiento de muchos mohos, bacterias aeróbicas Gram (+) y bacterias Gram (-) tales como *Pseudomonas sp.* que provocan pérdida de color y malos olores en carnes, aves y pescados. Este gas, puede utilizarse para el envasado en atmósfera modificada de diferentes productos, dependiendo de la concentración empleada. A concentraciones elevadas su principal aplicación se realiza con los quesos duros, productos de panadería y pescados grasos. Las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> pueden provocar la decoloración y desarrollo de sabores ácidos punzantes, en carnes rojas y aves. Algunos productos lácteos, como cremas, son muy sensibles a la concentración de CO<sub>2</sub> y favorece el manchado.

***Nitrógeno (N<sub>2</sub>):*** Gas inerte, con baja solubilidad en el agua y en grasas, que se utiliza fundamentalmente en atmósfera modificada para desplazar el O<sub>2</sub>, así como para retrasar la oxidación y prevenir el enranciamiento en los frutos secos. Indirectamente, también puede influir sobre los microorganismos en los alimentos perecederos, al retrasar el desarrollo de los organismos aerobios productores de descomposición. La tercera función del nitrógeno consiste en actuar como relleno y para evitar el “colapso del envase” en los alimentos que absorben el CO<sub>2</sub>.

***Monóxido de carbono (CO).*** Se ha comprobado que es muy efectivo para conservar el color rojo en las carnes frescas, debido a la formación de carboximioglobina. No se ha empleado comercialmente con este

objetivo, puesto que al ser un gas altamente tóxico, su empleo no ha sido autorizado por las autoridades.

Las posibilidades de otros gases como cloro, óxido de etileno, dióxido de nitrógeno, óxido de propileno y dióxido de azufre, también se han investigado experimentalmente para el envasado en AM, pero es poco probable que su utilización comercial cuente con la aprobación de las autoridades (Parry, 1993).

#### ***1.2.6.4. Mezclas de gases***

De acuerdo con Parry (1993), existen 3 tipos de mezclas de gases que son utilizados para el envasado en atmósfera modificada:

- Cobertura inerte ( $N_2$ )
- Atmósfera semi-activa ( $CO_2/N_2$ ,  $O_2/CO_2/N_2$ )
- Atmósfera completamente activa ( $CO_2$  o  $CO_2/O_2$ )

La combinación de gases a utilizar depende de muchos factores, como: tipo de producto, material del envase y temperatura de almacenamiento. Con respecto al producto, los factores críticos son los contenidos de humedad y de grasas, las características microbiológicas, la intensidad de la respiración en los productos hortícolas y las necesidades de estabilización del color (carnes rojas). En el Anexo C se han recogido los niveles de  $O_2$  y  $CO_2$  recomendados por Kader (1985) para mantener los atributos de la calidad sensorial de las frutas y hortalizas.

#### **1.2.7. Ventajas y desventajas de la aplicación de la AM**

Las principales ventajas que ofrece la AM a la conservación de frutas y hortalizas serían:

- Reducción de la intensidad respiratoria y del máximo climatérico.

- Aumento de los periodos de tiempo pre y climatérico del fruto lo que permite realizar el envasado del mismo en un estado fisiológico más cercano a la madurez sensorial.
- Reducción del efecto del etileno en los frutos climatéricos y consecuentemente un retraso de la senescencia.
- Limitación de la pérdida de peso y disminución de los procesos de arrugamiento de los tejidos.
- Mantenimiento de la textura del producto.
- Disminución más lenta de los contenidos de azúcares, ácidos y vitamina C.
- Retraso en la degradación de clorofila y síntesis de pigmentos (carotenoides y antocianos).
- Limitación total o parcial de alteraciones fisiológicas, como daños por frío, escaldado, pardeamiento, etc.
- Reducción del desarrollo de microorganismos, como consecuencia de la acción fungistática y bactericida del CO<sub>2</sub>.
- Facilidad de identificación, mejor presentación, clara visión del producto y visibilidad en todo el entorno
- El incremento de la vida útil permite reponer las estanterías de venta con menor frecuencia
- Permite el apilado higiénico de los envases, cerrado y libre de goteo y olor del producto
- Reducción en los costes de producción, almacenamiento y equipos

Los inconvenientes o desventajas del envasado en atmósfera modificada son:

- Inversión en maquinaria de envasado con gas
- Coste de los gases y materiales de envasado
- Inversiones en equipos analíticos para garantizar el empleo de las mezclas de gas adecuadas

- Gastos en los sistemas para asegurar la calidad, para evitar la distribución de envases con perforaciones, etc.
- Posibilidad de crecimiento de patógenos sobre los alimentos, debido a los excesos en la temperatura cometidos por los distribuidores y consumidores
- Los beneficios del envasado en atmósfera modificada se pierden cuando se abre o se perfora el envase

### **1.2.8. Recientes aplicaciones del AM**

En los últimos años, numerosos investigadores han aplicado la AM a diferentes frutas y hortalizas, estudiando los efectos de diferentes plásticos sobre la fisiología, bioquímica y calidad de los productos envasados y las posibilidades de prolongar su vida comercial. Kader, Zagory y Kerbel (1989) señalan en Schlimme y Rooney (1997) que hasta mayo de 1985 se habían publicado aproximadamente 4000 artículos de investigación sobre AM.

Durante los últimos 50 años se han sometido reiteradamente a estudios los efectos de las atmósferas modificadas y controladas sobre numerosos productos vegetales, los resultados obtenidos han sido muy diversos. Liu (1990) señala que han habido algunas aplicaciones exitosas de las AM para el almacenamiento de productos hortícolas y particularmente en su transportación. Un ejemplo lo constituyen los plátanos verdes que pueden ser mantenidos en bolsas de polietileno (de aproximadamente 0.03 mm de grosor) por varias semanas o hasta varios meses a 20°C. Los plátanos verdes pueden beneficiarse de las AM con concentraciones menores de O<sub>2</sub> del 10% y con concentraciones aumentadas de CO<sub>2</sub> que van de 3 al 10%. Otro ejemplo es el de las fresas que pueden ser mantenidas en bolsas de polietileno o en cámaras con 20% de CO<sub>2</sub> durante su transporte a largas distancias.

La aplicación de las AM a otros productos ha sido estudiada por varios investigadores en el mundo. Santiago *et al.*, (1998) estudiaron el efecto de la aplicación de AM sobre la vida en anaquel del mango oro (*Mangifera indica*) en Oaxaca, México. De igual manera, en Chile Estévez *et al.*, (1998) conservaron y empacaron nueces descascaradas bajo AM y en bolsas de películas poliméricas respectivamente. Durante 8 meses analizaron el efecto de las AM en el producto empacado. Por otro lado, Fernández y Fonseca, (1998), evaluaron en Costa Rica el efecto de las AM con niveles bajos de oxígeno en lechuga tipo americana fresca cortada, empacada y lista para consumir.

En Colombia se tienen reportes de los trabajos que se han venido adelantando desde el Instituto de Ciencia y Tecnología Alimentaria (INTAL) en la ciudad de Medellín, como es el caso de la conservación de frutas frescas en almíbar bajo AM, tales como Mango, Papaya, Melón, Piña, uchuva, entre otros (INTAL,2003). Así mismo, muchos trabajos de grado a nivel de universidades se han podido adelantar hasta el momento, como en el caso de la Universidad nacional de Colombia.

Desafortunadamente, solo algunos de los muchos reportes han tenido éxito; sin embargo, una vez que se encuentra un método exitoso para un producto su aplicación es relativamente fácil y barata, (Liu, 1990).

### **1.2.9. Legislación y medioambiente**

Existe una considerable legislación relacionada con la venta de alimentos para el consumo humano. La utilización del envasado en atmósfera modificada tiene implicaciones sanas y seguras, y un factor que se debería tener en cuenta es que los gases en la atmósfera posiblemente podría tener un efecto de estimulación sobre los microorganismos causantes de enfermedades. Sin embargo, la investigación sobre la seguridad de estos alimentos todavía es deficitaria (Thompson, 2003).

Otro tema de seguridad es la posibilidad de que las películas que se utilizan en el envasado en atmósfera modificada sean tóxicas. La posibilidad de que los constituyentes de la película polimérica utilizada en el envasado en atmósfera modificada migren hacia el alimento que está contenido en dichas películas no es poco probable; ya que todas las películas utilizadas pueden contener ciertos constituyentes no polimerizados que se podrían transferir al alimento (Thompson, 2003). En los Estados Unidos la Administración para Alimentos y Drogas (FDA) y también la Comunidad Europea tienen regulaciones relacionadas con estos “Aditivos indirectos”. Por consiguiente, el fabricante de películas debe establecer la toxicidad y el comportamiento a la extracción de los constituyentes con simulantes específicos del alimento. En cuanto a Colombia, actualmente en el país no existe una norma específica que regule y establezca las implicaciones de empacar alimentos mínimamente procesados o en cualquier otro estado bajo la tecnología de atmósfera modificada, sin embargo en el decreto 3075 de 1997 expedido por el desaparecido Ministerio de salud, en su capítulo IV artículos 18 y 21, se establecen una serie de requisitos en cuanto al envase y operaciones de envasado para alimentos en el territorio nacional (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos-INVIMA).

### **1.3. FRUTAS Y HORTALIZAS MINIMAMENTE PROCESADAS**

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son productos que contienen tejidos vivos o que han sido modificados ligeramente de su estado fresco, siendo en su naturaleza y calidad semejante a los frescos. Estos productos generalmente se comercializan en una presentación que ofrece conveniencia al consumidor para evitarle un trabajo que ya se ha realizado con anterioridad; se catalogan en este grupo los productos que se adquieren pelados, segmentados en rodajas, en cubos, rallados, etc., debidamente empacados (Willey, 1997).

El propósito de este tipo de alimentos, es proporcionar al consumidor un producto hortícola o frutícola muy parecido al fresco con una vida útil prolongada y al mismo tiempo, garantizar la inocuidad de los mismos manteniendo una sola calidad nutritiva y sensorial (Vargas, 2002).

La buena calidad de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas dependerá de la calidad de la materia prima y del mantenimiento de ésta, hasta el momento del procesamiento, de los métodos de procesamiento y de las sucesivas condiciones de manipuleo (velocidad de enfriamiento adecuada, conservación a la temperatura y humedad relativa óptimas, condiciones de expedición y sanitización apropiadas (Vargas, 2002).

## **2. METODOLOGIA**

Esta investigación se llevo a cabo en las instalaciones de la Fundación INTAL (Instituto de Ciencia y Tecnología Alimentaria), a través de su Centro de Investigación del Empaque (CIE), ubicados en la ciudad de Medellín, Colombia. Para ello, se estudiaron y evaluaron ñames de la variedad espino (*D. rotundata Poir*), provenientes de la finca "El Paraíso" ubicada en el corregimiento de las Llanadas, municipio de Corozal en el departamento de Sucre. Los materiales de empaque y mezclas de gases utilizadas fueron suministrados por la fundación INTAL; así como los equipos y herramientas empleados en las operaciones de adecuación de la materia prima, empackado, sellado, conservación, medición y análisis.

Esta investigación fue de tipo explorativo y experimental. Dentro de los métodos de investigación que se siguieron, se opto por la observación y el método inductivo-deductivo. Para la recolección de la información se utilizaron fuentes primarias y secundarias. La información primaria se obtuvo a partir de ensayos (observaciones y mediciones en los ensayos); mientras que la información secundaria se obtuvo de fuentes bibliográficas como libros, tesis, revistas, artículos científicos, Internet y de

la experiencia e información suministrada por los asesores técnicos del INTAL. Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, tanto preliminares como durante la etapa de evaluación final se registraron en formatos determinados (*veáse Anexo G*).

Esta investigación se realizó en tres etapas: una etapa preliminar que se llevo a acabo en dos partes y una etapa de conservación y evaluación final.

### **i) Etapa preliminar A**

Durante esta etapa se realizaron las primeras pruebas de proceso, empaque y conservación, así como ensayos para determinar las operaciones previas y de adecuación que se harían a los ñames antes de ser empacados bajo condiciones de AM (*Véase Anexo D y E*). Además, se llevaron a cabo varios ensayos en los que se busco determinar el consumo de O<sub>2</sub> y la producción de CO<sub>2</sub> de los ñames troceados, con el fin de estimar la tasa de respiración y así su demanda de oxígeno al empacarse bajo atmósfera modificada.

### **Caracterización del producto**

Se realizó un seguimiento a los ñames en cada etapa antes de ser procesados. Durante éste, se determinaron las propiedades fisicoquímicas tales como pH, °Brix y acidez titulable; así como un análisis sensorial básico. Los demás parámetros se determinaron descriptivamente, matemáticamente y a través de la literatura revisada. En la Tabla 4 se describen los métodos y equipos utilizados para la determinación de las propiedades fisicoquímicas de los trozos de ñame espino estudiados durante las distintas etapas de experimentación.

**Tabla 4.** *Análisis físico-químicos realizados durante las etapas de experimentación*

Análisis	Unidad	Método	Equipo	Descripción
pH	Eqv-g H+	Potenciometría	Potenciómetro marca SCHOTT pH-Electrode BlueLine 23	<i>El pH se midió a partir de una sln al 10% (P/V) previamente preparada.</i>  Los SST se midieron a partir de una sln al 50% (P/V) previamente preparada.
Sólidos solubles totales	°Brix	Refractometría	Refractómetro N° 001	

*Continuación Tabla 4*

Acidez titulable	% Ácido cítrico	Titulación potenciométrica	Buretra Digital Easy Calibration Marca Brand	La acidez se determinó a partir de una sln al 10% (P/V) previamente preparada. Para ello se siguió el procedimiento descrito por Vicente (1994).
Índice madurez	°Brix / % Ac. Cítrico	Analítico		$IM = \frac{^{\circ} Brix}{\% Acidez}$

**Medida de la tasa de respiración**

Esta fase se realizó para conocer la tasa de respiración de los ñames mínimamente procesados a 2 temperaturas diferentes (refrigeración y ambiente). Para ello, se colocaron 1000 g de ñame espinado debidamente troceados en un recipiente de vidrio herméticamente cerrado y de volumen definido, a las condiciones de temperatura previamente establecidas. Para determinar el comportamiento respiratorio de los trozos de ñame se midió el porcentaje de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> al interior del recipiente durante tres días seguidos y a un intervalo entre medición de una hora para el caso de la temperatura de refrigeración y dos días cada hora para el caso de la temperatura ambiente. Las mediciones de concentraciones de gases se realizaron por medio de un analizador digital de gases O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> PBI DANSENSOR (*Veáse Anexo F*), el cual reporta la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en porcentaje en volumen.

Culminada la toma de datos después del tiempo establecido, se convirtieron a ml de CO<sub>2</sub>/Kg-h los porcentajes de CO<sub>2</sub> registrados (*veáse Anexo K*); mediante la siguiente expresión:

$$mlCO_2 Kg^{-1} h^{-1} = \frac{[CO_2] \times V}{100}$$

De donde: [CO<sub>2</sub>] es la fracción volumétrica del CO<sub>2</sub> (% v/v) y V el volumen del gas dentro del frasco (ml).

Una vez calculados estos valores para cada tiempo y condición de temperatura, se representaron gráficamente estos valores frente al tiempo. La curva obtenida para cada caso se ajustó linealmente y se estableció la ecuación de la recta; de donde el valor de la pendiente se tomaría como la tasa de respiración (ml CO<sub>2</sub>/Kg.h). Para corroborar este valor, se utilizó la siguiente expresión matemática (Palacio, *et al.* n.f.).

$$IR = \frac{[CO_2]_2 - [CO_2]_1 \times V}{t \times W}$$

De donde: IR (mlCO<sub>2</sub>/Kg-h), Intensidad Respiratoria; [CO<sub>2</sub>], concentración del gas en el interior del frasco. El subíndice indica el tiempo de medición, siendo 1 para el inicial y 2 para el final. V (ml), volumen del gas dentro del frasco, es decir la diferencia entre el volumen total del frasco y el volumen ocupado por la fruta. t (h), tiempo de medición y W (Kg) peso de la muestra.

### **Prueba de empaque y conservación.**

En esta fase se realizaron las primeras pruebas de empaque y conservación. Para ello, se empacaron trozos de ñame espinoso en tres películas plásticas de diferente permeabilidad (*Veáse Tabla 5*) y con 2 mezclas gaseosas previamente seleccionadas y un testigo (atmósfera pasiva). En el Anexo H, se describen las combinaciones de películas y mezclas que se establecieron, así como los tratamientos, variables de estudio y unidad experimental.

Para la realización de esta prueba, se colocó la unidad experimental dentro de los empaques escogidos, se inyectó la mezcla de gases y se selló (*veáse Anexo D y E*). Las operaciones de inyección y sellado se llevaron a cabo en una máquina empaquetadora para atmósfera modificada marca KOMET modelo Plus Vac 20 (*veáse Anexo F*), la cual realiza extracción de aire dentro del empaque, inyecta la mezcla de gases y sella.

**Tabla 5.** *Características de los materiales de empaque utilizados para evaluar la conservación de los trozos de ñame espino en atmósfera modificada*

Material de empaque	Permeabilidad (cm <sup>3</sup> 25 µm/m <sup>2</sup> día atm) al O <sub>2</sub> *	Dimensiones de la bolsa (cm)	Espesor (mls)
LDPE/LLDPE	7100-7800	14x21	2.5
BOPP/LDPE	2000	14x21	2.2
PS	3900-5500	14x21	2

(\*) *Paine y Paine (1994)*

Las bolsas selladas se almacenaron a temperatura de refrigeración (6.76°C +/- 1.15) en un cuarto frío durante 14 días; tiempo durante el cual se realizó a cada unidad experimental por tratamiento, análisis de % de CO<sub>2</sub>, % de O<sub>2</sub>, pH, % de acidez (Tabla 4) y un análisis sensorial descriptivo. Estas mediciones se realizaron los días 0, 2, 6, 10 y 14 de almacenamiento.

El efecto de los factores (empaque y mezcla de gases); así como la interacción, sobre las variables fisicoquímicas (pH y acidez) se evaluó a través de un modelo de análisis para el diseño completamente al azar en arreglo factorial 4x3x3 (4 tiempos, 3 empaques y 3 mezclas). Este análisis estadístico se realizó utilizando el procedimiento ANOVA del lenguaje STATGRAPHICS Plus versión 5.1.

## ii) Etapa preliminar B

Durante esta etapa se llevaron a cabo dos ensayos. En el primero, se empaquetaron trozos de ñame en empaques con diferentes áreas y teniendo en cuenta 4 relaciones vacío/gas al momento de la inyección de la mezcla de gases. Para este propósito, se utilizó como película de empaque el LDPE/LLDPE (Polietileno de baja densidad con polietileno lineal de baja densidad), ya que en la etapa anterior fue el empaque que mostró mejores resultados y una mezcla de gases 4/6 (4% CO<sub>2</sub>, 6% O<sub>2</sub> y 90% N<sub>2</sub>). En el Anexo H, se muestra el formato de investigación diseñado para este ensayo, en él se consignan las variables independientes (factores) y de estudio, la unidad experimental y los tratamientos.

Para la realización de esta fase, se colocó la unidad experimental dentro de los empaques a diferentes áreas, se inyectó la mezcla de gases previamente seleccionada bajo la condición vacío/gas definida, mediante la máquina empaquetadora KOMET y se sellaron los empaques.

Las bolsas selladas se almacenaron en un cuarto frío a temperatura de refrigeración (4°C) y durante un tiempo de almacenamiento de 14 días; dentro de los cuales se tomaron medidas de la concentración del gas inyectado en cada tratamiento, por medio del analizador de gases PBI-DANSENOR. Además, se realizó un seguimiento sensorial descriptivo a cada muestra que se inspeccionaba. Las mediciones correspondientes se hicieron los días 0, 2, 6, 10 y 14 de almacenamiento.

En el segundo ensayo, se empaquetaron trozos de ñame en 3 películas plásticas (*véase Tabla 6*) y bajo condiciones de vacío; con el fin de analizar el comportamiento del producto bajo esta forma de atmósfera modificada.

**Tabla 6.** *Parámetros de ensayo para el empaquetado al vacío de los trozos de ñame espino (*D. rotundata* Poir)*

<b>Película de</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Vacío</b>	<b>Replicas</b>	<b>Unidad</b>
--------------------	--------------------	--------------	-----------------	---------------

empaques	del empaque			experimental
LDPE/LLDPE	14x25 cm		1	
BOPP/LDPE	18x25 cm	99.9	1	200g/bolsa
Flexible 70 µm	18x25 cm		1	

En el desarrollo del ensayo, se empaco la unidad experimental dentro de los empaques escogidos, se realizo el vacío mediante la empaquetadora KOMET y se sello. Las bolsas selladas se almacenaron a temperatura de refrigeración (4°C) en un cuarto frío y durante un tiempo de 14 días. A los ñames empacados se les realizo un seguimiento sensorial cada tres días, en el cual se les observo la apariencia general (color, olor, textura) y conservación de vacío.

### iii) Etapa de conservación y evaluación final

Después de haber realizado los preliminares anteriores y haber efectuado las observaciones y análisis correspondientes basándose en estos, en esta última etapa se empacaron trozos de ñame en dos películas poliméricas y bajo condiciones de vacío (*Veáse Tabla 7*), con el propósito de determinar el empaque que prolongara por un período de tiempo mayor la vida en anaquel de los ñames mínimamente procesados y los conservara en óptimas condiciones. Así mismo se realizo un seguimiento en el que se pretendió establecer el tiempo de vida útil aproximado de los ñames empacados bajo este método.

**Tabla 7.** *Parámetros de ensayo para el empacado al vacío de trozos de ñame espino durante la etapa de evaluación y conservación final*

Película de empaque	Dimensiones del empaque	% Vacío	Replicas	Unidad experimental
BOPP/PEBD 70 µm	18x20 cm	99.9	3	200 g/bolsa
Flexible 70 µm	18x20 cm		3	

Para la realización de esta etapa, se empaco la unidad experimental dentro de los empaques escogidos, se realizo el vacío mediante la empaquetadora KOMET y se sello. Las bolsas selladas se almacenaron a

temperatura de refrigeración en un cuarto frío (4.76°C; +/- 1.55) y durante un tiempo de 53 días, dentro del cual se tomaron tres unidades experimentales por tratamiento y en intervalos de ocho días se realizaron análisis fisicoquímico de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales (Tabla 4). Además, se le realizó un seguimiento sensorial descriptivo a cada una de las muestras, en el cual se iba observando la apariencia general (color, aroma, olor) y la pérdida de vacío.

Se realizó además un análisis microbiológico al inicio y final del tiempo de medición ( *veáse Tabla 8*). Para la realización de los análisis, se siguió el procedimiento descrito por Pascual y Calderón (2000).

**Tabla 8.** *Análisis microbiológicos realizados durante la etapa de evaluación y conservación final*

<b>Análisis</b>	<b>Medio de cultivo</b>	<b>Método de conteo</b>	<b>Unidad de conteo</b>
Células Vegetativas <i>Clostridium sp</i>	Agar SPS (Sulfito de Sodio-Polimixina sin adición de complemento-BBL)	Recuento en placa profunda	UFC / g
Esporas de Clostridium Reductoras	Agar SPS (Sulfito de Sodio-Polimixina sin adición de complemento-BBL)	Recuento en placa profunda	UFC / g
Coliformes Totales y Fecales	Fluorocult Lauryl Sulfato	Número más probable	Nº Bacterias por gramo
Aerobio Mesófilos	Agar Plate Count	Recuento en placa profunda	UFC / g

*NOTA: UFC significa Unidades Formadoras de Colonia*

Durante la determinación de *Clostridium sp* y *Esporas de Clostridium*, las muestras se colocaron para su incubación en bolsas con una atmósfera de CO<sub>2</sub>, se sellaron y se incubaron a 37°C durante 48 horas. Para el caso

de *Coliformes totales y fecales* y *Aerobios Mesófilos*, las muestras se incubaron a 37°C y durante un tiempo de 24 y 48 horas respectivamente. Durante los análisis, el conteo o lecturas se realizó visualmente, a excepción de los Coliformes en donde se utilizó la lámpara de luz ultra violeta.

Para determinar el mejor empaque, se analizaron estadísticamente los datos obtenidos durante los análisis fisicoquímicos mediante un modelo de análisis para el diseño en bloques completos al azar; el cual se realizó utilizando el procedimiento ANOVA del lenguaje STATGRAPHICS Plus versión 5.1.

### 3. RESULTADOS

#### i) Etapa preliminar A

##### Caracterización del producto

En la Tabla 9 se muestran las propiedades fisicoquímicas determinadas. Las características físicas, térmicas, reológicas, entre otras, del ñame se muestran en el Anexo I. Estos valores fueron obtenidos de una revisión bibliográfica realizada previamente durante el desarrollo explorativo de la investigación. Los valores de las propiedades fisicoquímicas, se determinaron experimentalmente a partir de 200 g de una muestra inicial de ñame en cada etapa.

**Tabla 9.** *Propiedades fisicoquímicas del ñame espino (Dioscorea rotundata Poir)*

Propiedades	Parámetros	Indicador
Fisicoquímicas	Sólidos solubles totales	4° Brix
	pH	6.3
	Acidez titulable	0.0768 % Ac. Cítrico

##### Medida de la tasa de respiración

En la Tabla 10 se muestran los valores correspondientes a la tasa de respiración de los ñames mínimamente procesados a las temperaturas de estudio (refrigeración y ambiente) determinadas gráficamente y matemáticamente. En ella, se puede apreciar que los ñames troceados mostraron una tasa de respiración relativamente baja a temperatura de refrigeración; mientras que a temperatura ambiente este valor fue mayor.

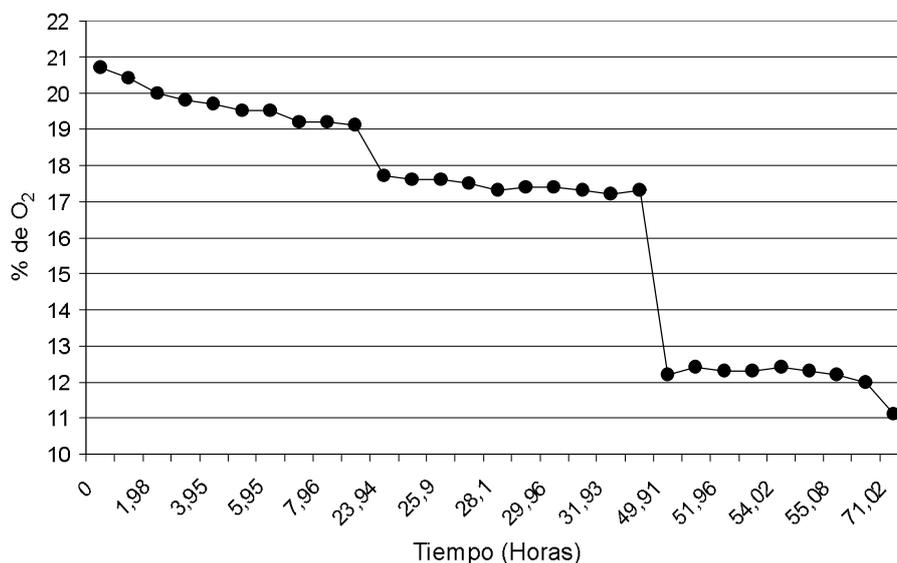
**Tabla 10.** *Tasas respiratorias de los ñames troceados a temperatura de refrigeración y ambiente*

Tasa de respiración (mlCO <sub>2</sub> /Kg h)		
Temperatura	Método	
	Gráficamente	Matemáticamente

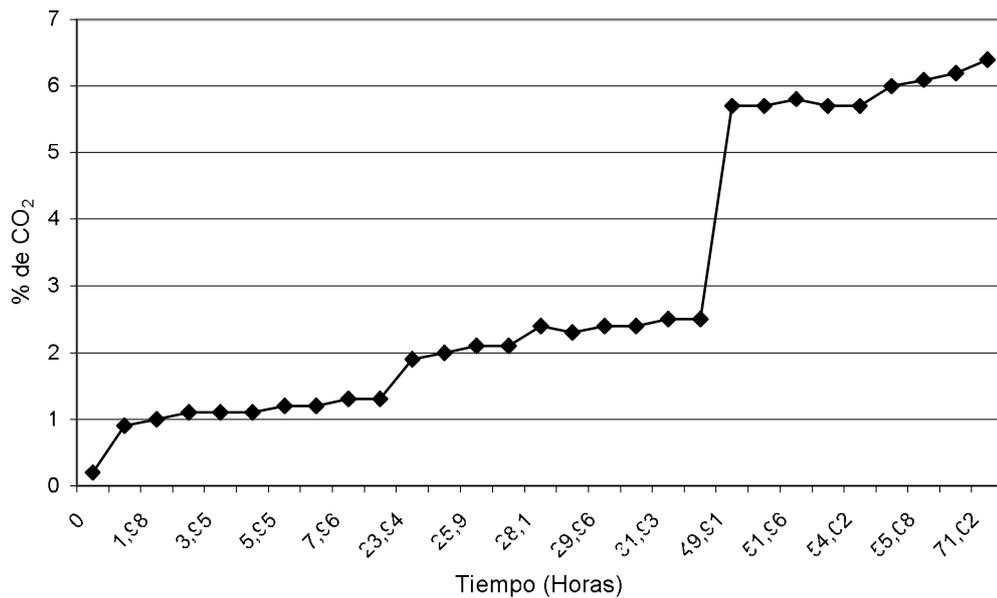
5.07°C +/- 1.68	2.891 (0.91)	3.18
27.17°C +/- 0.82	19.962 (0.77)	22.43

En la Figura 8, se observa la variación de la concentración de O<sub>2</sub> (% v/v) durante la medición de la tasa de respiración para los ñames a temperatura de refrigeración. Se puede apreciar como dicha concentración disminuye constantemente a través del tiempo, lo que induce a la disminución de la velocidad de respiración de los ñames. En cuanto al CO<sub>2</sub> (% v/v), se observó que éste se incrementó con el tiempo, estabilizándose a las 71.02 horas de almacenamiento en 6.4 % v/v (Veáse Figura 9).

**Figura 8.** Variación de la concentración de O<sub>2</sub> durante la medición de la tasa de respiración a temperatura de refrigeración (5.07°C +/- 1.68)



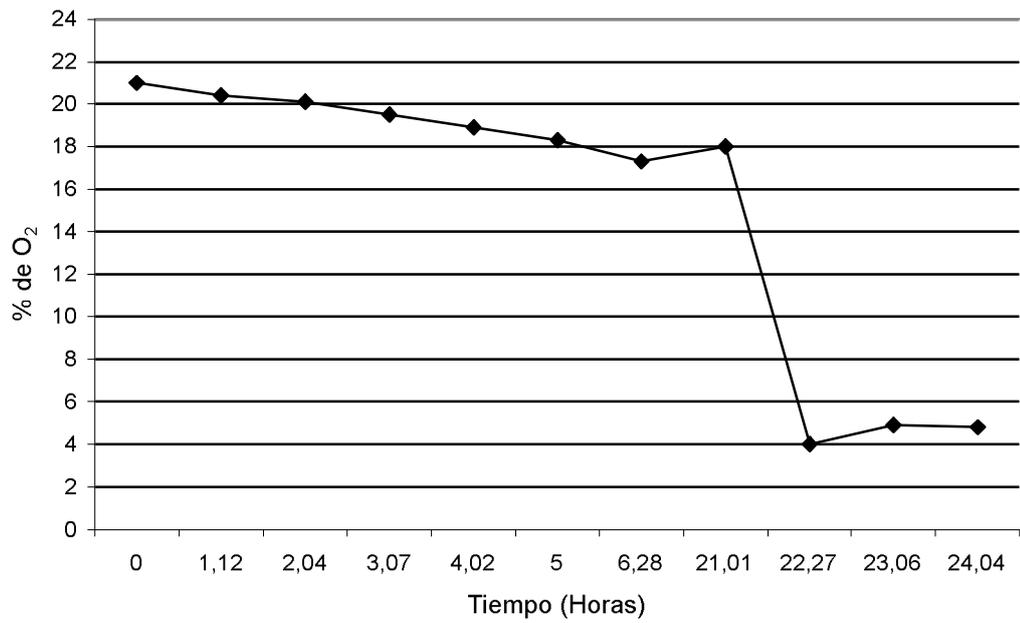
**Figura 9.** Variación de la concentración de CO<sub>2</sub> durante la medición de la tasa de respiración a 5.07°C (+/- 1.68)



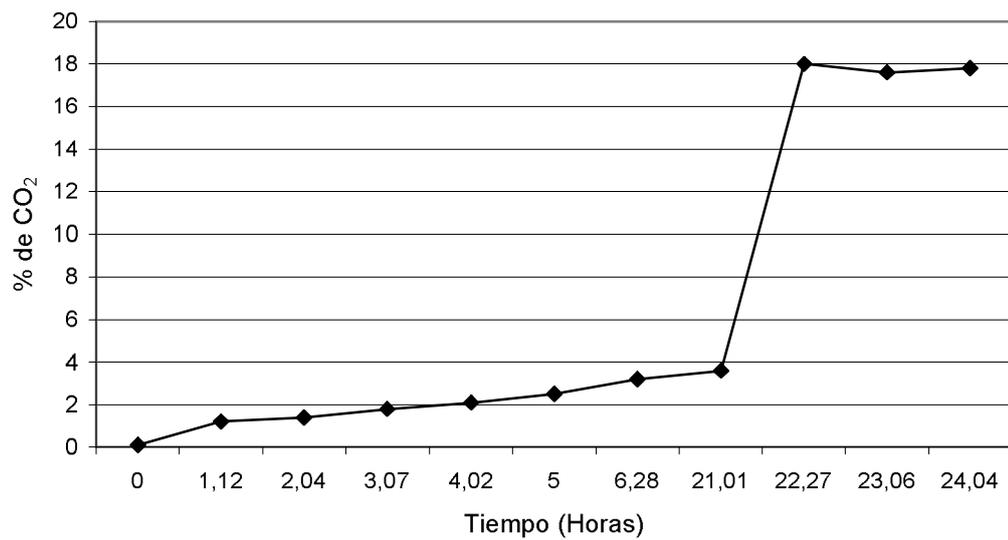
Por otro lado, en la Figura 10 y 11 se puede apreciar la variación de estos gases bajo condiciones de temperatura ambiente. Inicialmente se observa un descenso en los niveles de O<sub>2</sub> proporcional al incremento de CO<sub>2</sub> en forma constante a través del tiempo, el cual tiende a decrecer y aumentar respectivamente a las 21 horas de almacenamiento, tiempo en el que se asume ya se ha alcanzado un periodo de equilibrio de los gases, es decir lo que el producto consume de O<sub>2</sub> es igual a lo que produce de CO<sub>2</sub>.

En la Figura 12, se muestra la producción de CO<sub>2</sub> (mlCO<sub>2</sub>/Kg-h) en los trozos de ñame a través del tiempo a temperatura de refrigeración. Se destaca un aumento constante de la producción a través del tiempo a esta temperatura. De igual manera, se observó que a temperatura ambiente la producción de CO<sub>2</sub> mantuvo un comportamiento similar, notándose en este caso valores de producción más altos que los registrados a temperatura de refrigeración (*veáse Figura 13*).

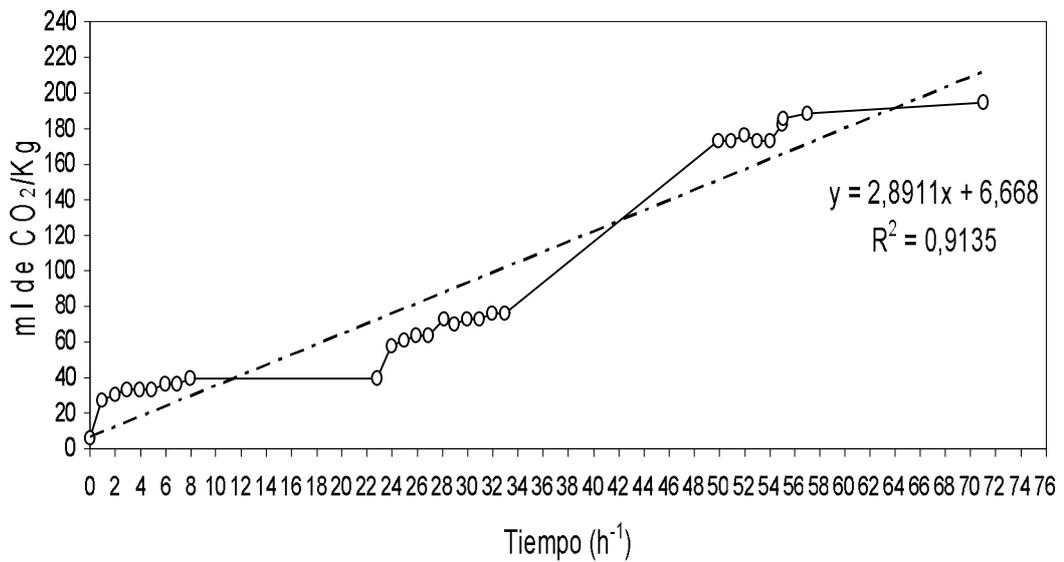
**Figura 10.** Variación de la concentración de O<sub>2</sub> (% v/v) durante la medición de la tasa de respiración a temperatura ambiente (27.17°C +/- 0.82)



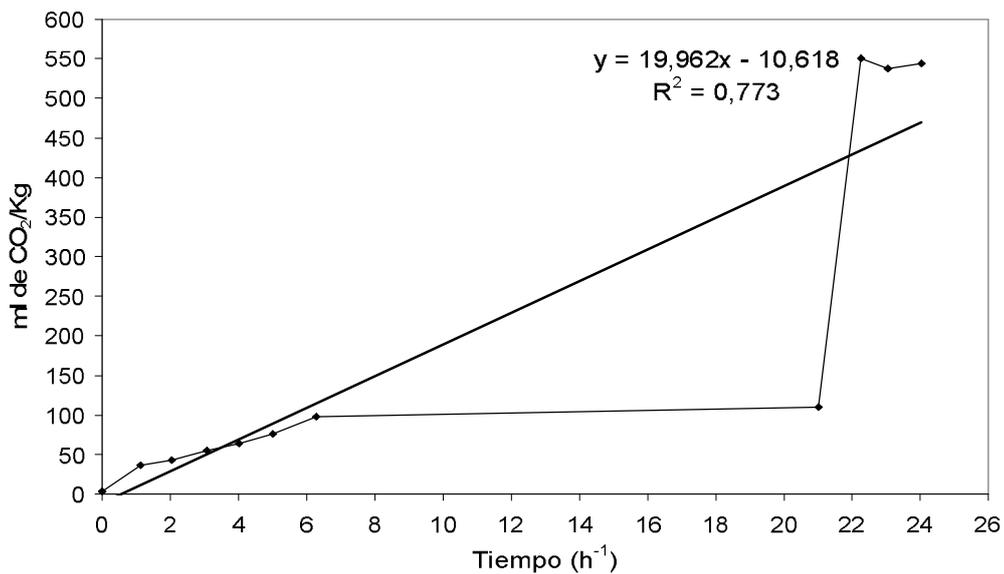
**Figura 11.** Variación de la concentración de CO<sub>2</sub> (% v/v) durante la medición de la tasa de respiración a temperatura ambiente (27.17°C +/- 0.82)



**Figura 12.** Producción de CO<sub>2</sub> (ml CO<sub>2</sub>/Kg h) en los ñames troceados a través del tiempo (5.07°C +/- 1.68)



**Figura 13.** Producción de CO<sub>2</sub> (ml CO<sub>2</sub>/Kg h) en los ñames troceados a través del tiempo (27.17°C +/- 0.82)



**Prueba de empaque y conservación**

Durante esta fase, se observó que al cabo de un tiempo de almacenamiento de 14 días, el tratamiento que prolongó por mayor tiempo la atmósfera de equilibrio al interior del empaque (6 días) y que logro conservar en condiciones moderadas (evaluando características

como color y olor) al producto, fue el tratamiento T1. Sin embargo y de manera general, los resultados obtenidos no fueron los más favorables, ya que se observó que en todas las muestras empacadas bajo los distintos tratamientos, la oxidación enzimática constituyó un factor de calidad crítico, puesto que afectó la apariencia general de todos los productos empacados, principalmente los de los tratamientos T7, T8 y T9 (Veáse *Figura 14*). De igual manera, se notó que en los tratamientos donde el oxígeno se agotó rápidamente (T4 y T5), las muestras tomaron un olor ligeramente ácido, esto como consecuencia a la respiración anaeróbica que ya se estaba dando.

***Figura 14.*** Trozos de ñame con coloraciones indeseables como consecuencia de la oxidación enzimática



#### **Concentración de $O_2$ y de $CO_2$**

En todos los tratamientos se observó un rápido consumo de  $O_2$ , principalmente en los tratamientos 4 y 5 donde después de 2 días de almacenamiento los porcentajes de  $O_2$  dentro del empaque ya eran mínimos (Veáse *Figura 15*). El oxígeno solo estuvo disponible en los demás tratamientos hasta el día 10, luego se agotó. En los tratamientos 7

y 8 las concentraciones registradas de este gas fueron irregulares, es decir no mantuvieron un comportamiento similar a los demás, puesto que se observó un aumento y una disminución de la concentración a través del tiempo.

Para el caso del CO<sub>2</sub>, se observó un incremento rápido en la producción de éste, aunque hubo algunos tratamientos en los que se notó un leve descenso a través del tiempo, pero que al final mantuvieron la tendencia inicial (*Véase Figura 16*). Las mayores concentraciones de este gas se observaron en los tratamientos 4 y 5, principalmente en el tratamiento 4; mientras que en los demás los porcentajes de CO<sub>2</sub> registrados siempre se mantuvieron por debajo de los niveles registrados para los tratamientos previamente mencionados.

En los tratamientos con atmósfera semiactiva, se notó que durante los primeros dos días de almacenamiento, la concentración de CO<sub>2</sub> al interior del empaque descendió, caso contrario a lo observado en los tratamientos con atmósfera pasiva en donde la concentración de este gas siempre mantuvo un aumento constante.

**Figura 15.** *Evolución del O<sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A*

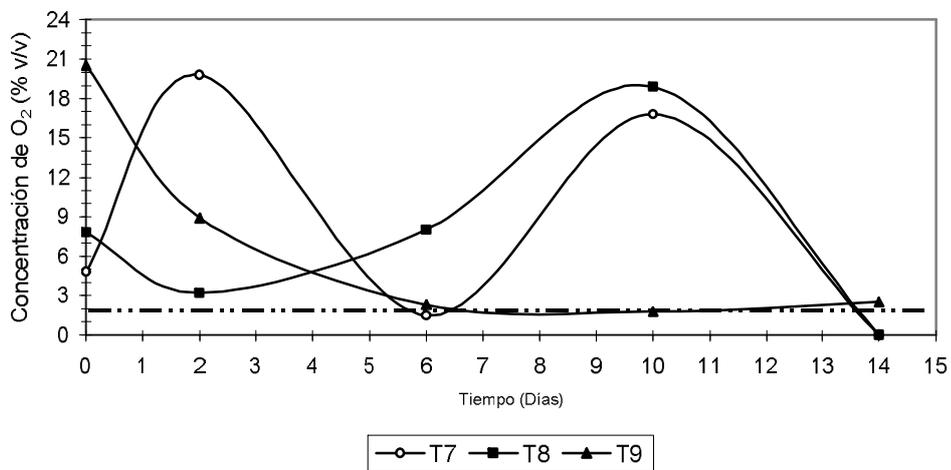
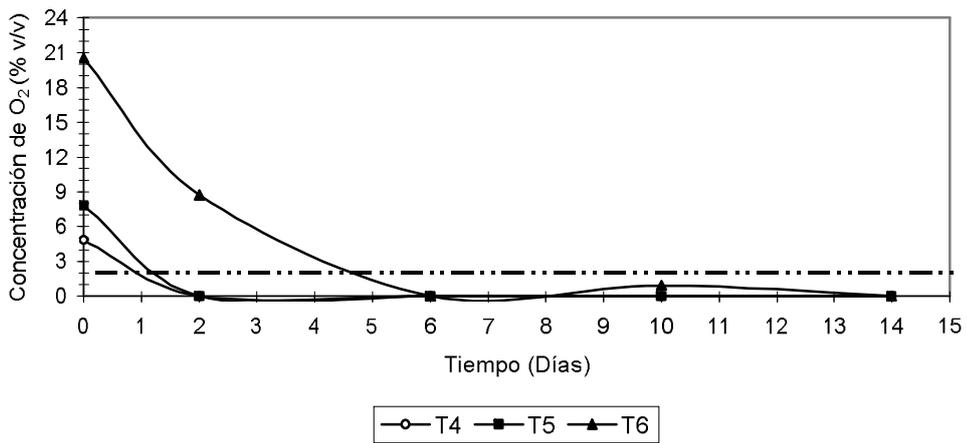
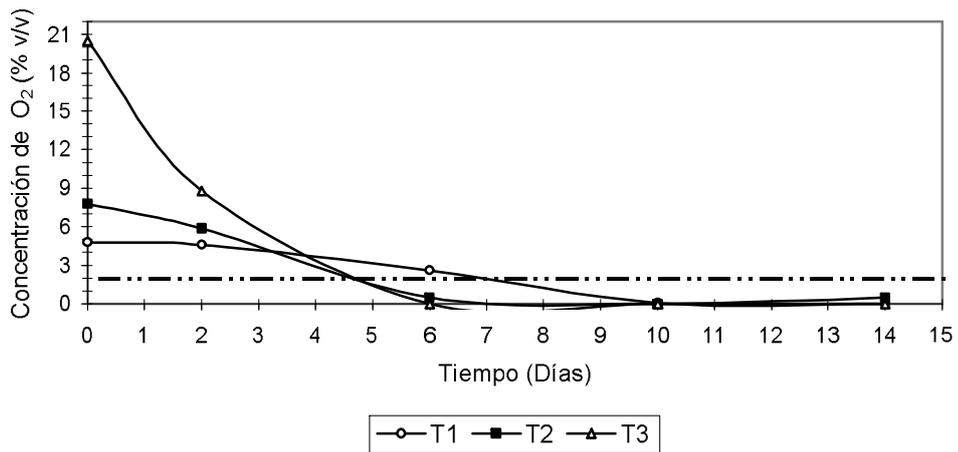
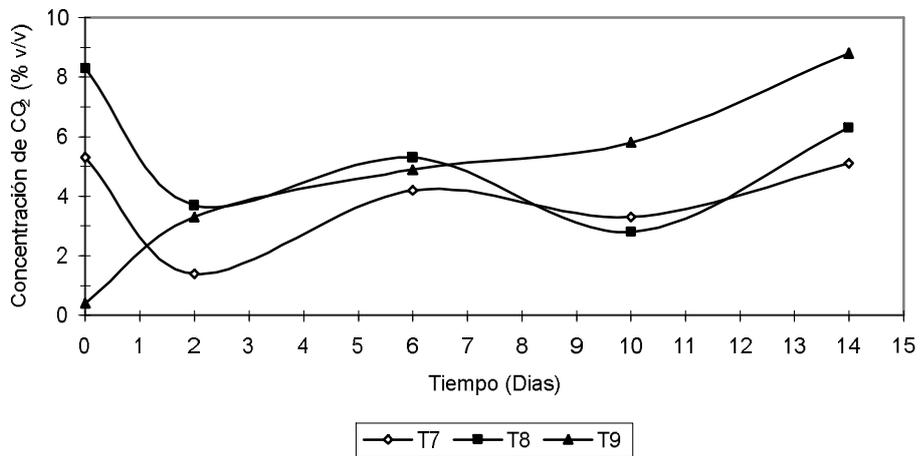
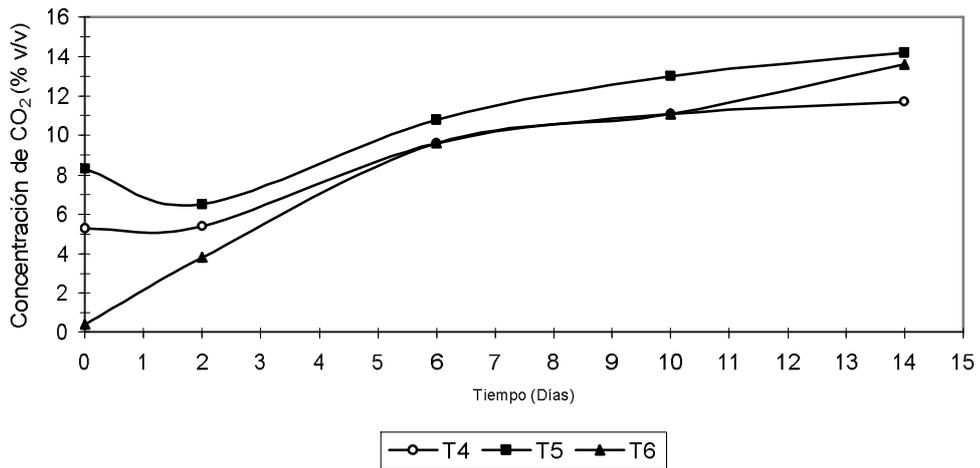
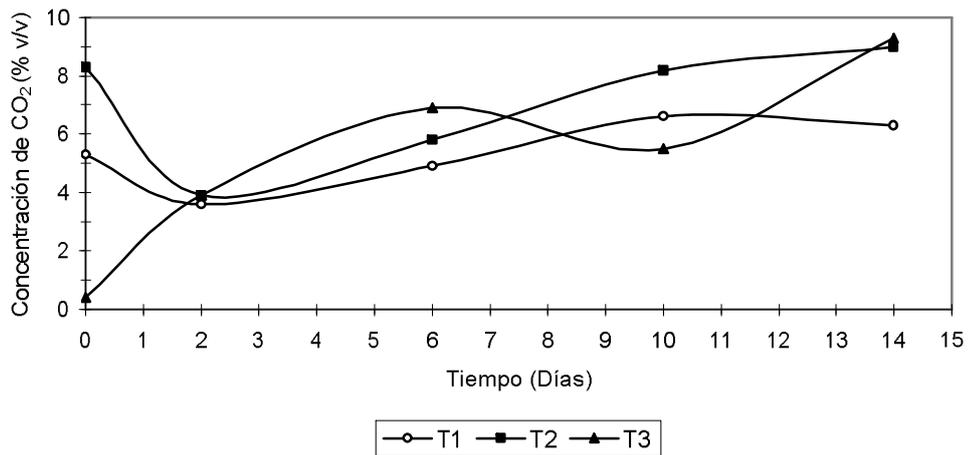


Figura 16. Evolución del CO<sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A



**Análisis fisicoquímicos**

Las evaluaciones de pH y acidez titulable que se realizaron a los diferentes tratamientos durante todo el tiempo de almacenamiento, mostraron que para cada caso, estos valores registrados no variaron de

manera significativa (*veáse Tabla 11*), ya que mantuvieron un comportamiento que dentro de los rangos permisibles para el producto en evaluación, no dieron indicio de alguna alteración fisicoquímica desfavorable; por lo tanto no se discrimina por esta característica.

En el Anexo J, se consignan los análisis de varianza que se realizaron a los datos de pH y % de Acidez respectivamente. De la ANOVA se concluye que los empaques, las mezclas de gases y la interacción de estos dos factores no tienen ningún efecto significativo sobre el % Acidez, con un nivel de confiabilidad del 95%. Sin embargo, si tomamos el tiempo como factor, se puede apreciar que este si tiene un efecto significativo sobre esta variable, más no la interacción de los factores iniciales con ésta. Para el caso del pH, se concluye que el empaque y el tiempo tienen un efecto estadísticamente significativo sobre esta variable, pero que la mezcla de gases y las respectivas interacciones no la tienen. No obstante, las diferencias entre pH no son muy marcadas y no constituyen una medida confiable y precisa de que haya alteraciones en las condiciones del producto desde este punto de vista, ya que los % de Acidez que se reportan con relación al pH no denotan indicios de acidez crítica en el producto y por ende alguna alteración indeseable en el producto como tal.

En las Figuras 17 y 18 se muestra la evolución del pH y la acidez en los diferentes tratamientos a través del tiempo de almacenamiento. El pH registro un aumento muy leve, mientras que la acidez presentó un comportamiento un tanto irregular, ya que en unos tratamientos mantuvo una tendencia a aumentar y en otros a disminuir. Sin embargo cabe notar que en algunos tratamientos él % de acidez concuerda con los valores de pH.

**Tabla 11.** *Variación de la concentración de O<sub>2</sub> (%), CO<sub>2</sub> (%), pH y Acidez (%) a través del tiempo durante la etapa preliminar A*

---

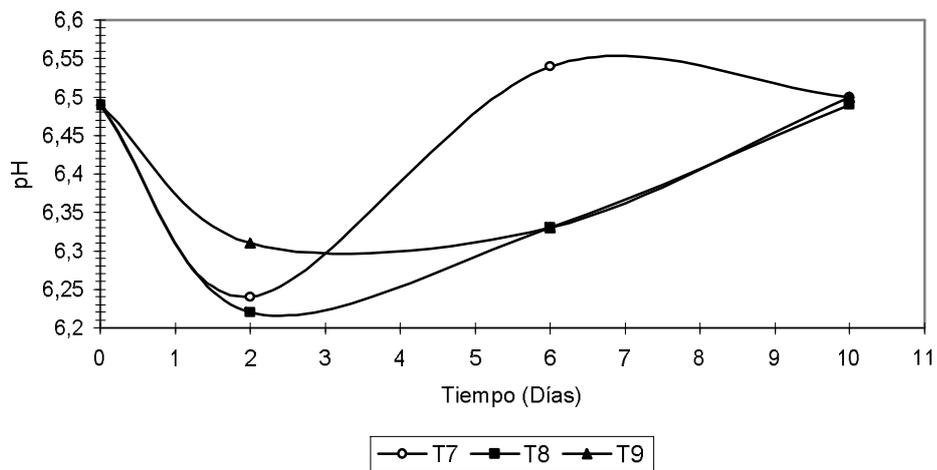
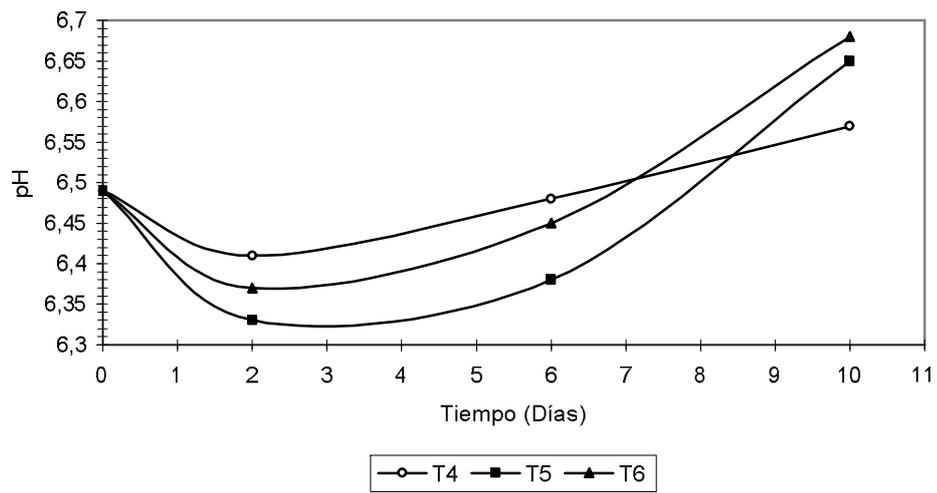
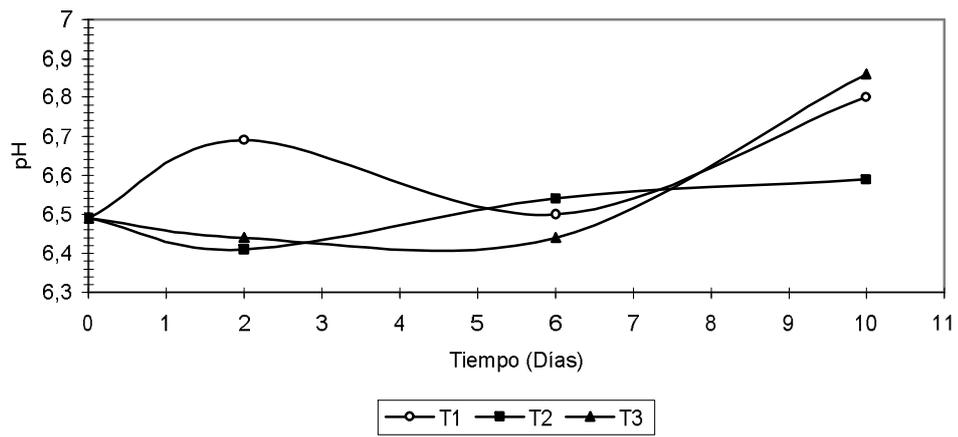
---

Tiempo (Días)
---------------

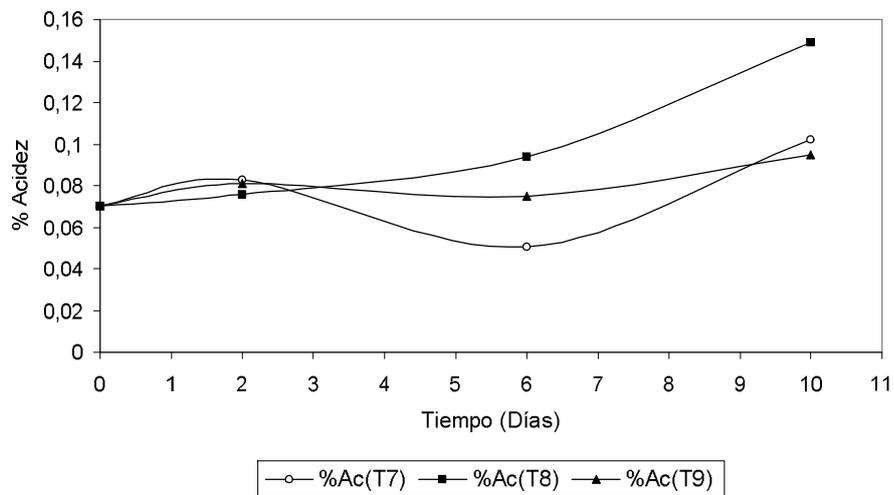
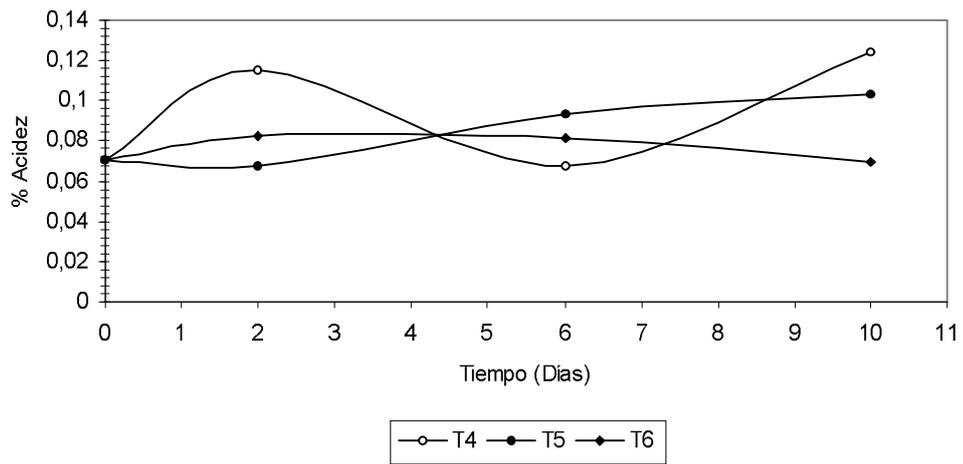
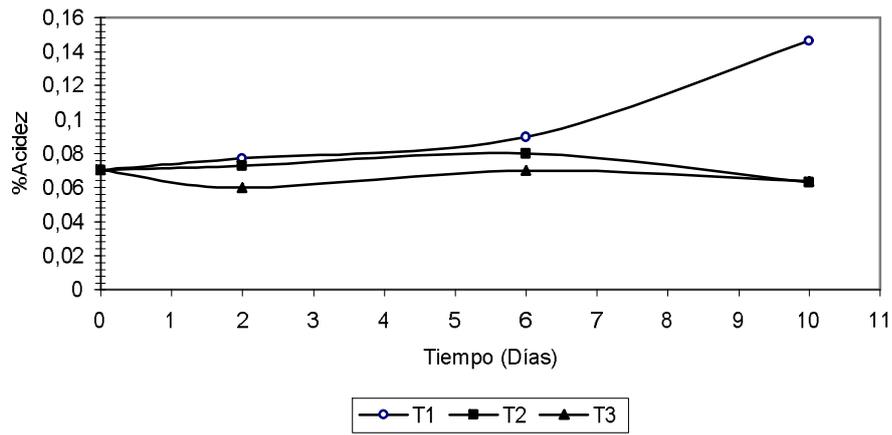
---

Variable	Tratamiento	0	2	6	10	14
<i>O<sub>2</sub></i> (%)	1	4.8	4.6	2.6	0.1	0
	2	7.8	5.9	0.5	0	0
	3	20.5	8.8	0	0	0
	4	4.8	0	0	0	0
	5	7.8	0	0	0	0
	6	20.5	8.7	0	0	0
	7	4.8	19.8	1.5	16.8	0
	8	7.8	3.2	8	18.9	0
	9	20.5	8.9	2.3	1.8	2.5
<i>CO<sub>2</sub></i> (%)	1	5.3	3.6	4.9	6.6	6.3
	2	8.3	3.9	5.8	8.2	9
	3	0.4	3.9	6.9	7.5	9.3
	4	5.3	5.4	9.6	11.1	11.7
	5	8.3	6.5	10.8	13	14.2
	6	0.4	3.8	9.6	11.1	13.6
	7	5.3	1.4	4.2	3.3	5.1
	8	8.3	3.7	5.3	2.8	6.3
	9	0.4	3.3	4.9	5.8	8.8
<i>pH</i>	1	6.49	6.69	6.5	6.8	-
	2	6.49	6.41	6.54	6.59	-
	3	6.49	6.44	6.44	6.86	-
	4	6.49	6.41	6.48	6.57	-
	5	6.49	6.33	6.38	6.65	-
	6	6.49	6.37	6.45	6.68	-
	7	6.49	6.24	6.54	6.5	-
	8	6.49	6.22	6.33	6.49	-
	9	6.49	6.31	6.33	6.5	-
<i>Acidez</i> (%)	1	0.0704	0.0771	0.0896	0.1465	-
	2	0.0704	0.0727	0.08	0.063	-
	3	0.0704	0.06	0.07	0.0637	-
	4	0.0704	0.115	0.0678	0.124	-
	5	0.0704	0.0671	0.0932	0.1035	-
	6	0.0704	0.0826	0.081	0.0698	-
	7	0.0704	0.0829	0.0508	0.102	-
	8	0.0704	0.0757	0.094	0.149	-
	9	0.0704	0.0807	0.0748	0.0949	-

**Figura 17.** Evolución del pH a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A



**Figura 18.** Evolución de la Acidez (%) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar A



## ii) Etapa preliminar B

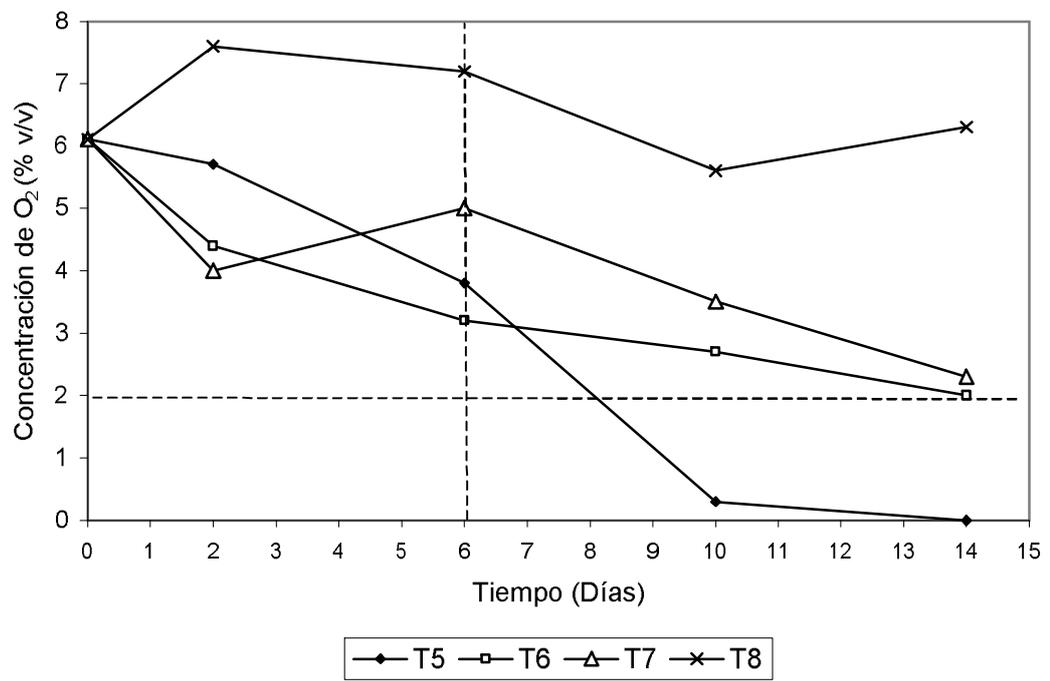
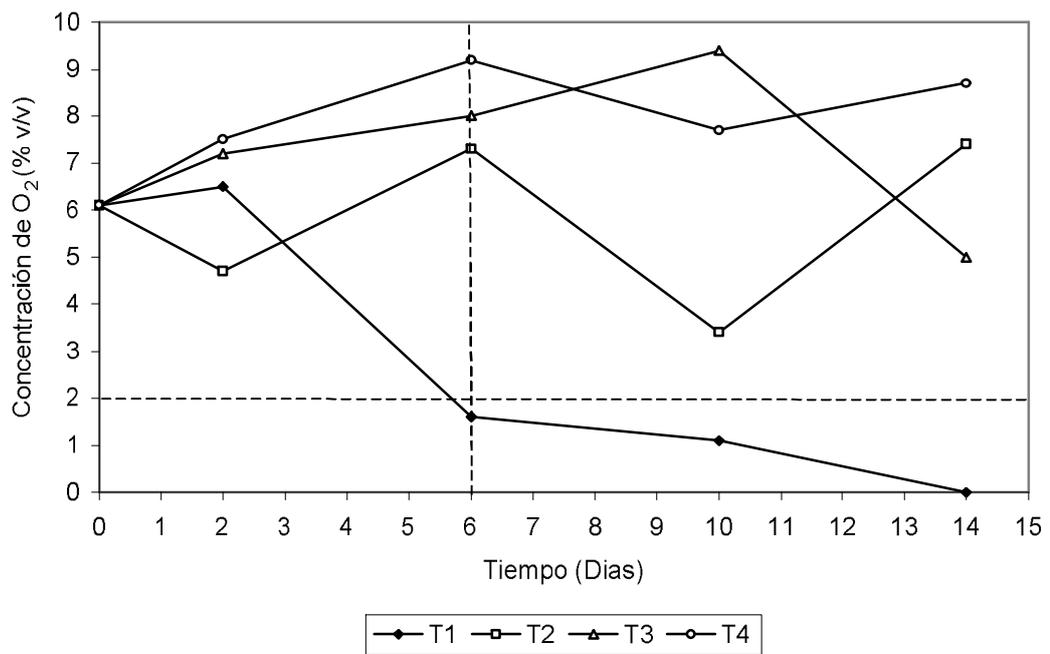
En la Tabla 12, se muestran los datos obtenidos durante esta etapa y en las Figuras 19 y 20 la evolución de los gases ante los diferentes tratamientos. Como se puede observar, la mayoría de los tratamientos

conservaron por más de seis días la atmósfera de equilibrio al interior de los empaques, a excepción del tratamiento 1, en el cual ya para entonces se registraban concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores al 2%. Cabe citar que si bien los factores que se estudiaron permitieron mantener en equilibrio la atmósfera gaseosa al interior de los empaques por más de seis días, en cuanto a las condiciones de calidad del producto como tal estas no se mantuvieron, ya que se noto un oscurecimiento en la superficie de los productos empacados en la mayoría de los tratamientos, el cual para el día 10 ya era bastante notorio, principalmente en los tratamientos 1, 5, 6, 9 y 13.

**Tabla 12.** *Variación de gases (%) a través del tiempo, durante la etapa preliminar B*

% O <sub>2</sub>						% CO <sub>2</sub>					
Trat	Tiempo (Días)					Trat	Tiempo (Días)				
	0	2	6	10	14		0	2	6	10	14
1	6.1	6.5	1.6	1.1	0	1	4.4	2.3	4.9	5.2	5.6
2	6.1	4.7	7.3	3.4	7.4	2	4.4	3	3.7	4.9	4.1
3	6.1	7.2	8	9.4	5	3	4.4	2.1	3.4	3.5	4.6
4	6.1	7.5	9.2	7.7	8.7	4	4.4	2.1	3.2	3.7	3.9
5	6.1	5.7	3.8	0.3	0	5	4.4	2.4	4.5	5.6	5.7
6	6.1	4.4	3.2	2.7	2	6	4.4	2.8	4.7	5.1	5.1
7	6.1	4	5	3.5	2.3	7	4.4	3	4.1	4.7	5.3
8	6.1	7.6	7.2	5.6	6.3	8	4.4	2.2	3.7	4.7	4.3
9	6.1	6.4	4.7	2.2	0	9	4.4	2.2	4.1	5	5.6
10	6.1	5.4	4.4	4.9	2.4	10	4.4	2.7	4.2	4.4	5.2
11	6.1	6.5	7.3	7	3.3	11	4.4	2.3	3.2	4	5.1
12	6.1	7.1	9.1	8.5	5.4	12	4.4	2.2	3.1	3.7	5.2
13	6.1	3.8	4.5	1	0	13	4.4	2.9	4.2	5.3	5.7
14	6.1	5.9	6	5.2	0	14	4.4	2.5	3.8	4.3	5.8
15	6.1	6.4	6.5	5.7	4.9	15	4.4	2.4	3.6	4.2	4.9
16	6.1	7	5.6	4.9	5.5	16	4.4	2.4	4	5.1	4.7

**Figura 19.** *Evolución del O<sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar B*



Continuación Figura 19

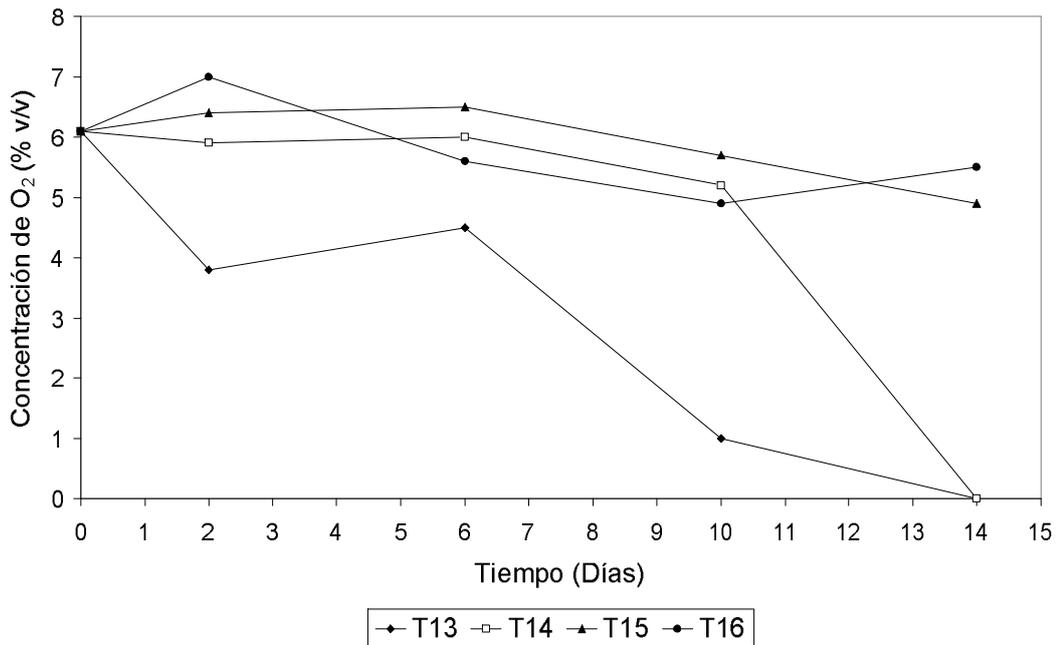
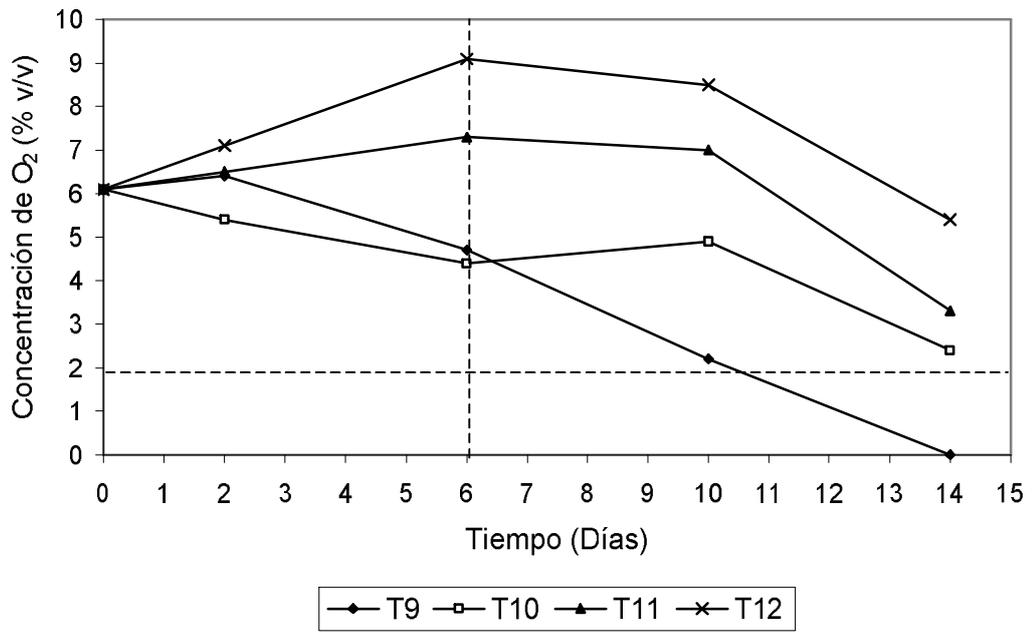
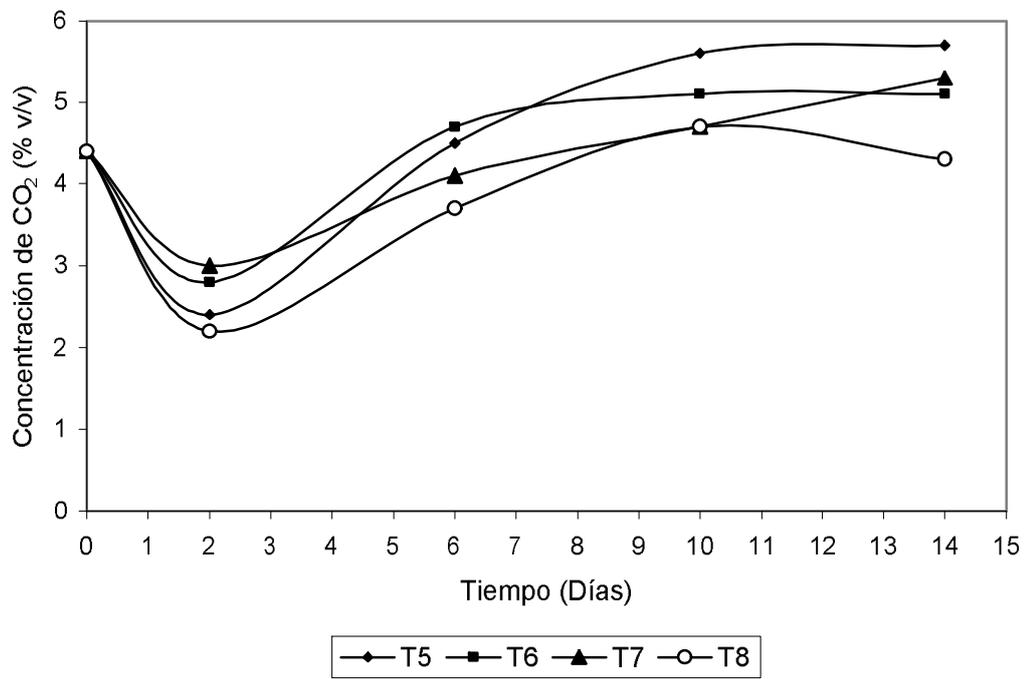
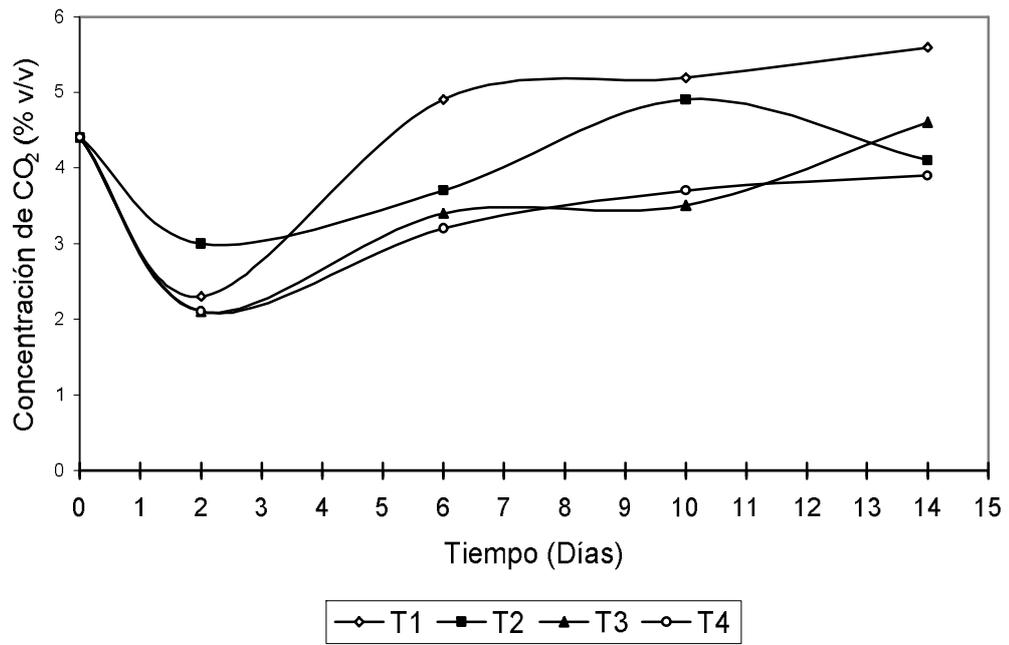
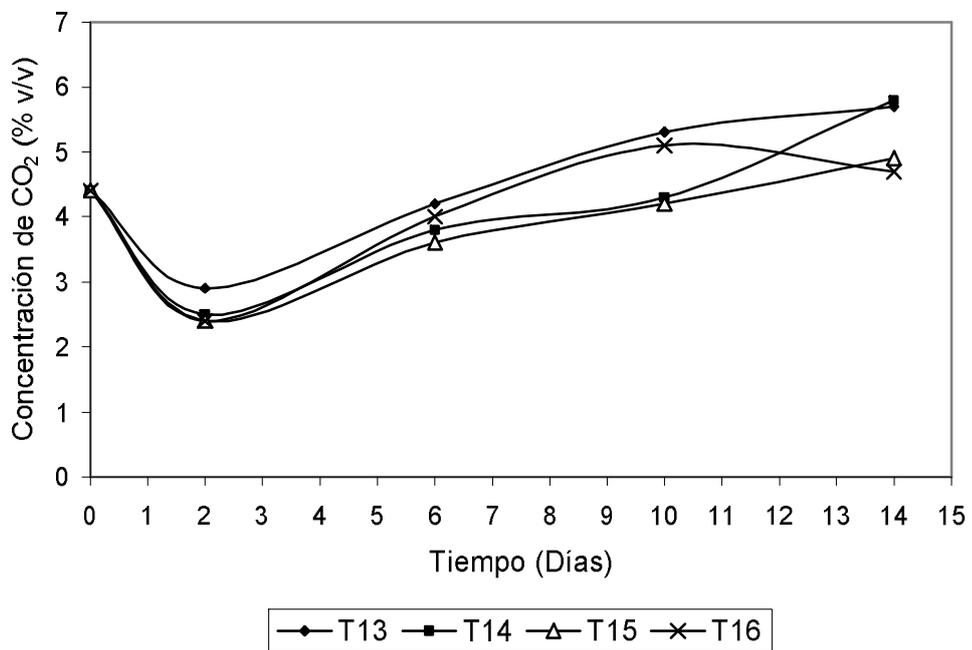
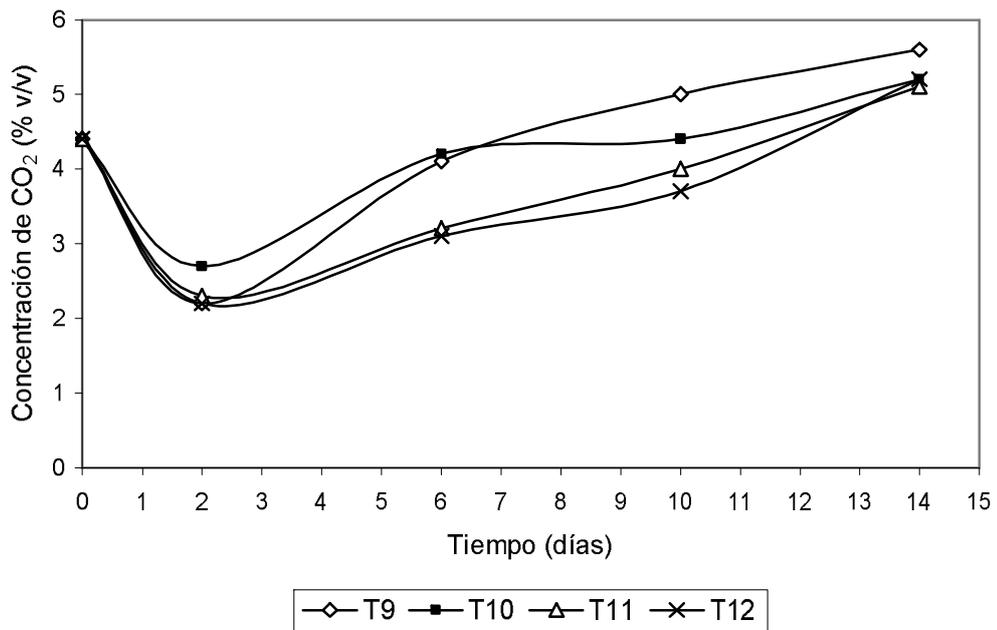


Figura 20. Evolución del CO<sub>2</sub> (% v/v) a través del tiempo en los diferentes tratamientos durante la etapa preliminar B



Continuación Figura 20



En la Figura 19, se puede observar la evolución de la concentración de O<sub>2</sub> en los diferentes tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento. En ella se aprecia como en los tratamientos donde el área de empaque era mayor, el % de O<sub>2</sub> al interior de los empaques se mantuvo siempre alto hasta el final del tiempo de almacenamiento; mientras que en los

tratamientos donde el área era menor (T1, T5, T9 y T13), la concentración de O<sub>2</sub> tuvo una leve tendencia a disminuir con el tiempo.

Para el caso del CO<sub>2</sub>, los valores registrados mantuvieron una tendencia constante de aumento durante todo el tiempo de almacenamiento, aunque al inicio de éste se notara un descenso del gas en la mayoría de los tratamientos, debido a que aun el proceso de equilibrio no se iniciaba (*veáse Figura 20*). En general, no se noto ninguna diferencia significativa en los niveles de CO<sub>2</sub> para ningún tratamiento, hasta el punto de establecer que la tendencia de consumo de O<sub>2</sub> y producción de CO<sub>2</sub> fue notoria, constante y normal de acuerdo con lo registrado.

En cuanto a la relación vacío/gas; se observo que en los diferentes tratamientos este factor no influyo de manera apreciable puesto que el mantenimiento de una atmósfera constante al interior de los empaques, en especial de oxígeno se debió más que todo al área; sin embargo es de notar que en los tratamientos 3, 4 y 8 en donde el % de gas en la programación era mayor, la concentración de oxígeno se mantuvo alta hasta el final del tiempo de almacenamiento. No obstante, los resultados de esta etapa muestran como la masa de gas presente al interior de un empaque, así como el área de la película influyen en el mantenimiento de una atmósfera adecuada de equilibrio. Por lo tanto, durante la operación de inyección de gases sería recomendable utilizar una relación vacío/gas apropiada entre 30 y 50 en la programación de la maquina, para de esta manera garantizar una masa de gas constante al interior de los empaques durante el tiempo de conservación.

Del segundo ensayo realizado en esta etapa de experimentación, se obtuvo que bajo condiciones de vacío los trozos de ñame alcanzaron un tiempo de conservación bastante largo, logrando mantener condiciones de calidad adecuadas. Por otro lado, de los empaques evaluados, el LDPE/LLDPE fue el empaque en el que el producto se deterioro más, lo cual indica que no sería recomendable para empacar bajo estas

condiciones. Esto debido en gran parte a su permeabilidad, la cual es alta al oxígeno.

### iii) Etapa de conservación y evaluación final

Durante el almacenamiento de los ñames empacados al vacío, al evaluar las características fisicoquímicas (*Veáse Tabla 13*), se observa que el pH para las muestras empacadas no tuvo cambios notables y se mantuvo dentro de un intervalo favorable para la conservación del producto. De igual forma, se observa que los sólidos solubles totales no variaron y se mantuvieron constantes durante todo el período de almacenamiento.

**Tabla 13.** Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las diferentes muestras de ñame empacados al vacío. Temp. 4.8 °C +/- 1.55

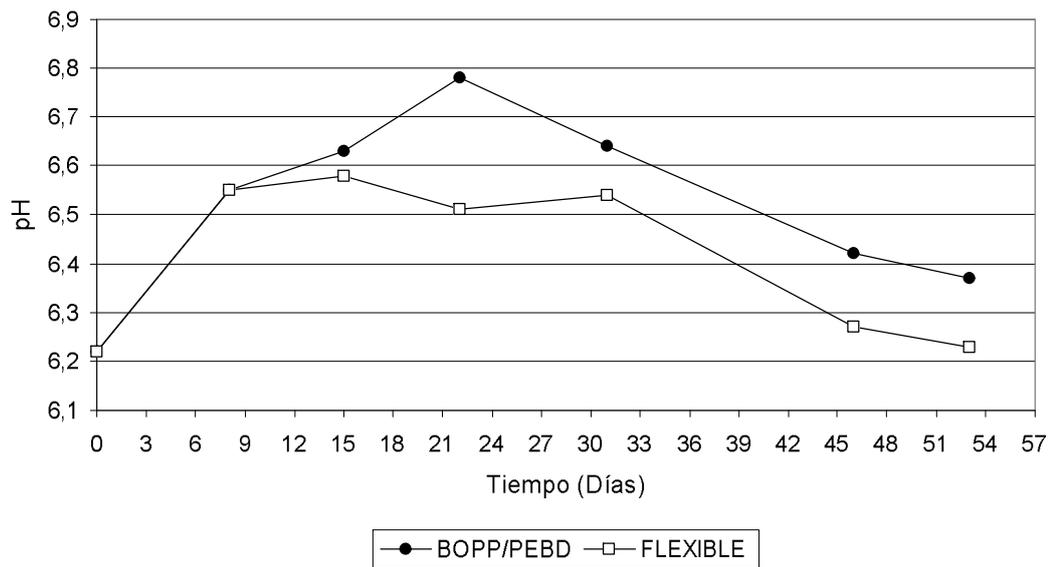
Película de empaque: BOPP/LDPE									
Tiempo (Días)	pH			Acidez (%)			° Brix		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	6.22	-	-	0.0771	-	-	4	-	-
8	6.57	6.56	6.53	0.072	0.06	0.0721	4.4	4.8	4.8
15	6.65	6.65	6.6	0.0668	0.073	0.074	3.6	4.0	4.0
22	6.83	6.87	6.64	0.0564	0.0516	0.0642	4.0	4.0	4.0
31	6.75	6.72	6.45	0.0528	0.0546	0.0762	4.0	4.0	4.0
46	6.32	6.73	6.2	0.0804	0.0528	0.09	4.0	4.0	4.0
53	6.85	5.5	6.77	0.0475	0.2	0.038	4.0	4.0	4.0
Película de empaque: Flexible 70 micras									
Tiempo (Días)	pH			Acidez (%)			° Brix		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	6.22	-	-	0.0771	-	-	4	-	-
8	6.62	6.51	6.53	0.057	0.058	0.063	4.0	6.0	5.2
15	6.7	6.6	6.43	0.0571	0.0512	0.044	4.8	4.0	4.0
22	6.54	6.46	6.52	0.066	0.066	0.087	4.0	4.0	4.0

31	6.62	6.54	6.46	0.0828	0.0864	0.0924	4.0	4.0	4.0
46	6.4	6.2	6.2	0.1098	0.1086	0.1104	4.0	4.0	4.0
53	6.2	6.4	6.1	0.0681	0.051	0.4008	4.0	4.0	4.0

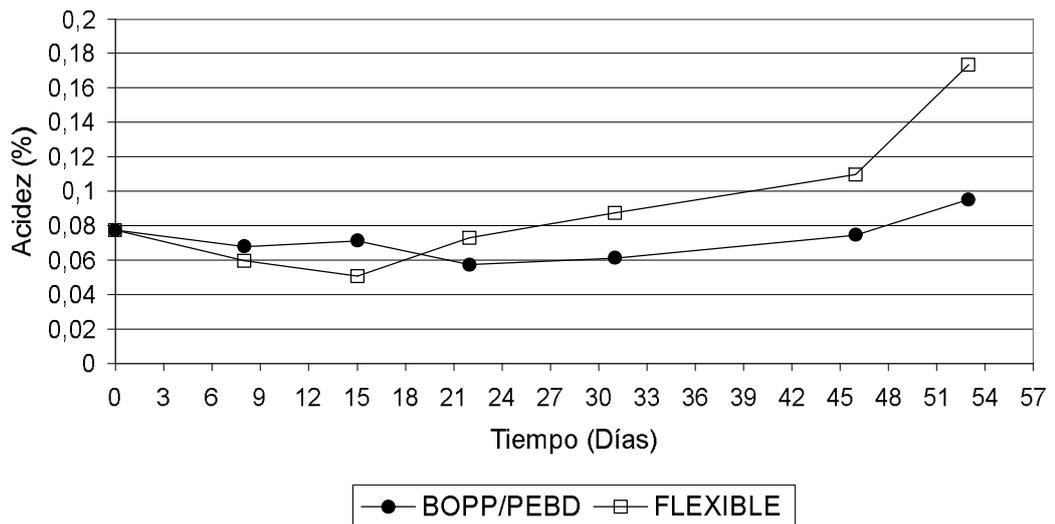
La Figura 21, muestra la evolución del pH de las muestras empacadas en los 2 tratamientos (empaques) a través del tiempo de almacenamiento. En ella se puede observar como durante los primeros días de almacenamiento el valor del pH aumenta ligeramente hasta llegar a un punto en el que comienza a descender. Para el caso de las muestras empacadas en BOPP, este aumento de pH se observó hasta el día 22, tiempo a partir del cual comienza a descender de manera constante, lo que indica probablemente un descenso para entonces de la intensidad respiratoria del producto empacado. En cambio para las muestras empacadas en el Flexible este aumento se mantuvo solo hasta el día 8, tiempo a partir del cual los valores tendieron a mantenerse constantes hasta el día 31, tiempo en el que comienzan a descender constantemente.

En el caso de la acidez, ésta aumenta en forma normal a través del tiempo en los dos empaques (*Veáse Figura 22*) observándose un aumento notable a partir del día 22, principalmente en las muestras que se encontraban empacadas en el Flexible. Lo anterior corrobora lo expresado anteriormente en lo referente al comportamiento del pH para los diferentes empaques.

**Figura 21.** *Evolución del pH en las muestras empacadas al vacío a través del tiempo*



**Figura 22.** Evolución de la acidez (%) en las muestras empacadas al vacío a través del tiempo



El análisis de varianza realizado a partir de los resultados obtenidos de pH y acidez, arrojo que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los empaques a través del tiempo, a un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ ; lo que indica que los empaques evaluados no

tuvieron un efecto significativo sobre las variables pH y % de acidez en el producto empacado (*Veáse Anexo J*).

En cuanto a la apariencia del producto empacado, un análisis sensorial descriptivo que se iba realizando durante los días de medición mostró que el producto logro mantener sus características de calidad inalterables solo hasta el día 31, tiempo a partir del cual comenzaron a aparecer los primeros indicios de pardeamiento, ya que muchas muestras presentaban coloraciones oscuras; color que para los días 46 y 53 ya no dejaban ver un producto de buena apariencia (*Veáse Figura 23*), principalmente aquellas que para entonces ya habían perdido el vacío. Además, ya era notorio la presencia de olores desagradables, principalmente ácidos; esto como producto de la fermentación anaerobia que ya se estaba dando, debido a las condiciones anaerobica a las que el producto estaba expuesto.

**Figura 23.** *Ñames troceados empacados al vacío: a, Primeros días de almacenamiento, b) Después de 53 días de almacenamiento*

(a)

(b)



En la Tabla 14 se muestran los resultados del análisis microbiológico realizado a las muestras antes de ser empacadas y después de 53 días de almacenamiento; en ella se observa que tanto al inicio como al final del tiempo de almacenamiento, las muestras empacadas arrojaron recuentos microbiológicos bajos; lo que indica que el tratamiento previo de limpieza y desinfección fue favorable, teniendo en cuenta que este es un producto que proviene generalmente de una fuente con alta carga microbiana.

**Tabla 14.** *Resultados Análisis Microbiológicos*

Análisis	Conteo	
	Inicial	Final

Células Vegetativas <i>Clostridium sp.</i>	< 1x10 UFC/g de muestra (C.E.)	< 1x10 UFC/g de muestra (C.E.)
Esporas de Clostridium Sulfito Reductoras	< 1x10 UFC/g de muestra (C.E.)	< 1x10 UFC/g de muestra (C.E.)
NMP de Coliformes Totales	23 bacterias/g de muestra	< 3 bacterias/g de muestra
NMP de Coliformes Fecales	< 3 bacterias/g de muestra	< 3 bacterias/g de muestra
Recuento de Aerobios Mesófilos	4x10 <sup>5</sup> UFC/g de muestra (C.E.)	4x10 <sup>3</sup> UFC/g de muestra (C.E.)

NOTA: C.E. significa Conteo Estimado

Por otro lado, podemos apreciar en la tabla, que al final del almacenamiento, el número de bacterias coliformes totales se redujo, esto como consecuencia a las condiciones de empaqueo (vacío), las cuales no eran favorables para el desarrollo de este grupo de microorganismos. De igual manera, también se puede apreciar que hubo una reducción en el número de bacterias mesófilas, influenciado por las misma condición de empaqueo; principalmente temperatura.

### **Análisis de costo al empaocar en AM**

El costo por empaocar 1 Kg de ñame y en presentaciones de 200 g bajo atmósfera modificada sería:

**Tabla 15. Análisis de costos al empaocar en AM**

Rubro	Cantidad	\$/Unidad	Método de modificación	
			Gases	Vacío
Materia prima	1 Kg	800	\$ 800	\$ 800
Material de empaque <sup>1</sup> :				
- Bolsa flexible 70 micras 18 x 20 cm	4 Bolsas	81.75		327
- Bolsa LDPE 2 mil 14 x 21 cm	4 Bolsas	11.15	44.6	
Inyección de gases <sup>2</sup>	2 Ciclos	271.71	543.42	

<b>TOTAL</b>			<b>\$ 1 388.02</b>	<b>\$ 1 127</b>
--------------	--	--	--------------------	-----------------

*NOTA: (1) El precio de los empaques fue suministrado por la Empresa Alico S.A.  
(2) El costo de inyección de gases se estima basados en un ciclo de la Komet Plus con una mezcla de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> y una programación de la maquina de 99% vacío y 50% gases. Se entiende por ciclo al conjunto de operaciones (vacío-inyección de gases-sellado) que realiza la maquina durante el proceso de empaqueo en AM.*

El empaqueo al vacío muestra ser mucho más rentable, ya que además de ofrecer la ventaja de conservación del producto no implica la aplicación de gases, evitando gastos por concepto de éstos y si consideramos que una pipeta de gases para AM esta alrededor de \$ 110.000 (Cryogas S.A.), se incurriría en menores costos de producción.

## 4. DISCUSION DE RESULTADOS

### i) Etapa preliminar A

#### Medida de la tasa de respiración

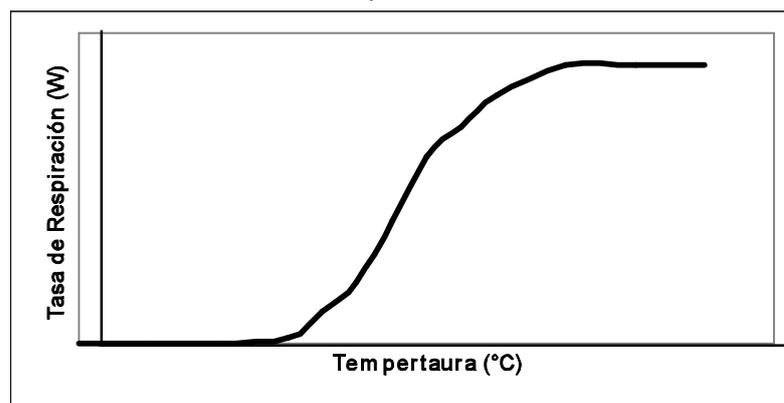
La comparación de los datos obtenidos con los resultados de otros autores en ñames enteros (*Veáse Anexo L*), revela que la tasa de respiración es mayor en los ñames troceados a temperatura ambiente. Este aumento en la respiración está asociado al estrés celular ocasionado por las operaciones de proceso. Estos provocan cambios en su fisiología, potenciándose tanto la cadena de transporte de electrones como el ciclo de los ácidos tricarbónicos (Brecht, 1995). También puede haber una

contribución de la gran superficie de contacto celular de los ñames troceados con la atmósfera que los rodea, acelerándose el intercambio gaseoso como producto del aumento de difusión de O<sub>2</sub> al interior de los tejidos.

Por otro lado, la temperatura es el factor que más afecta a la intensidad respiratoria, puesto que influye en la velocidad de las reacciones enzimáticas del proceso respiratorio. La intensidad respiratoria aumenta en función directa con la temperatura, siendo los incrementos más acusados cuanto mayor es la temperatura de conservación del producto (Romajaro *et al.* 1996). De allí que en las muestras a temperatura ambiente la tasa de respiración registrada fuera mayor que en las almacenadas en refrigeración.

Lo anterior se explica en la Figura 24, donde en forma general se muestra la tendencia de variación entre la temperatura y la tasa de respiración de un producto. A mayores temperaturas se presentan incrementos en la tasa hasta un punto en donde no hay más cambios a pesar de existir incrementos en temperatura; en el caso contrario a temperaturas muy bajas las tasas son disminuidas drásticamente (Carmona, 2001). Lo que ratifica una tasa de respiración mayor en los ñames troceados a temperatura ambiente.

**Figura 24.** *Comportamiento de la tasa de respiración en función de la temperatura*



*Fuente: Carmona (2001)*

La reducción en oxígeno ( $O_2$ ) y el enriquecimiento en  $CO_2$  son consecuencias naturales del desarrollo de la respiración cuando las frutas y hortalizas frescas se almacenan en un envase o contenedor herméticamente cerrado (Day, 1993). Esto explica el porque de la disminución  $O_2$  y aumento de  $CO_2$  registrado durante la medición de la intensidad respiratoria.

### **Prueba de empaque y conservación**

Generalmente, los tubérculos especialmente el ñame, además de los componentes químicos principales, tales como el almidón, suelen contener otros importantes componentes menores. Uno de estos es la enzima llamada *polifenoloxidasas*, que causa el conocido efecto de oscurecimiento de las superficies recién cortadas (Axtell, 1998). Al cortar, magullar, estropear, golpear o pelar las frutas, hortalizas o tubérculos, un substrato constituido por compuestos polifenólicos, la enzima y el oxígeno entran en contacto y se mezclan, dando inicio de inmediato a la reacción de pardeamiento (Wong, 1989), de allí la oxidación del producto empacado y por ende las coloraciones oscuras que se presentaron en la mayoría de las muestras empacadas bajo los diferentes tratamientos.

El desarrollo de malos olores en las muestras empacadas bajo los tratamientos 4 y 5 es una característica organoléptica indeseable que esta asociada a la respiración anaeróbica que ya se estaba dando en el empaque debido a la ausencia de  $O_2$  para el segundo día de almacenamiento. Esta respiración generalmente origina en el producto una rápida alteración de la calidad vía la degradación de los tejidos, acumulación de etanol, acetaldehído y malos olores (Schlimme y Rooney, 1997).

El proceso de disminución de  $O_2$  e incremento de  $CO_2$  se presentó debido a que los ñames tomaron todo el oxígeno presente al interior de los

empaques para su proceso respiratorio. Así mismo, la permeabilidad de las películas plásticas utilizadas constituye un factor importante al momento de evaluar la concentración de estos gases al interior de los empaques, puesto que para el caso del BOPP, su permeabilidad ante los gases muestra que éste es una película con una permeabilidad relativamente baja, causa por la que para el segundo día de almacenamiento los niveles de  $O_2$  ya eran mínimos en vista a la baja difusión de  $O_2$  desde el exterior hacia el interior de empaque.

Cuando se envasan frutas y hortalizas frescas o procesadas mínimamente en películas plásticas de permeabilidad relativamente baja a los gases se produce, en el interior de la bolsa, un descenso de la concentración de  $O_2$  y un incremento de la concentración de  $CO_2$  como consecuencia de la propia respiración tisular. Eventualmente la concentración de  $O_2$  se reduce hasta un nivel que induce a la anoxia de los tejidos mientras que se produce un simultáneo incremento de  $CO_2$  que intensifica la anaerobiosis en la atmósfera del envase (Schlimme y Rooney, 1997).

La acidez y el pH no variaron significativamente en las muestras empacadas, debido a que el ñame es un producto que si bien es rico en carbohidratos especialmente almidón, la degradación de éstos durante los procesos fisiológicos como la respiración, fue lenta no permitiendo así una conversión significativa de éstos a ácidos orgánicos.

## **ii) Etapa preliminar B**

De acuerdo con la ley de Fick, la velocidad de penetración (o permeación) de un gas es proporcional al área expuesta (Paine y Paine, 1994); es decir entre mayor sea el área de la película (área de intercambio gaseoso) mayor será la velocidad con la que los gases van a traspasar la película; de allí que en los tratamientos cuya área era mayor se mantuviera un aumento constante del oxígeno, pero sobre todo que este no variara con el tiempo, debido precisamente al intercambio constante que se mantuvo

de oxígeno circundante alrededor del espacio de almacenamiento con los empaques. Además se considera que el empaque empleado tiene una permeabilidad relativamente alta al oxígeno, característica que facilitó el proceso.

Por otro lado; cuando se manejan relaciones de vacío/gas medias durante el proceso de inyección de gases, se garantiza una masa de gas alta al interior de los empaques; razón por la que en los tratamientos en los que esta relación era media, los niveles de  $O_2$  siempre se mantuvieron altos hasta el final del tiempo de almacenamiento. Sin embargo, hay que considerar que el ñame es un producto que tiene un consumo relativamente bajo de  $O_2$  por Kg-hora, lo que indica que la demanda era baja con relación a la masa de gas presente y que la difusión de  $O_2$  desde el exterior era un tanto rápida en especial en los empaques con áreas mayores, aspecto que influyó de una u otra forma para que se notara este comportamiento en tales tratamientos.

### **iii) Etapa de evaluación y conservación final**

La eliminación del aire y con ello la reducción significativa del oxígeno cuando se empaca bajo condiciones de vacío, favoreció a la conservación de las condiciones óptimas de calidad de los trozos de ñame y así prolongar por un período de tiempo mayor que con gases, la vida en anaquel de los mismos.

Bajo estas nuevas condiciones la tasa de respiración del producto empacado se redujo, al igual que los cambios fisiológicos como la oxidación, alargando así la vida en almacenamiento de este producto. Schlimme y Rooney (1997) señalan que la degradación de la calidad de los productos postcosecha está principalmente asociada a la respiración y que ésta, tanto en las frutas enteras como en las mínimamente procesadas, condiciona su vida útil. No obstante, este fenómeno puede

acelerarse o ralentizarse modificando la concentración de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) de la atmósfera que envuelve a las frutas y hortalizas.

Por otro lado, el oxígeno presente en las mezclas de gases empleadas para la conservación de los trozos de ñame en las etapas anteriores de experimentación, mostró ser un factor acelerador para la reacción de oxidación enzimática causante de los colores oscuros. Para esta etapa, al no haber presencia significativa de oxígeno al interior de los empaques esta reacción no se inicio de inmediato en el producto empacado como en los casos anteriores. Generalmente el oxígeno es el factor que más causa deterioro en los alimentos debido a su participación en muchas reacciones enzimáticas en los alimentos incluyendo la oxidación de grasas y de compuestos sensibles como vitaminas y aromas (Parry, 1993).

Los olores extraños que fueron notorios a partir de determinado tiempo de almacenamiento (Día 46), son consecuencias naturales de los procesos fermentativos que para entonces ya se estaban desarrollando debido principalmente a las condiciones anaerobias a las que estaban expuestas. Así mismo, la pérdida de vacío como consecuencia de la condensación de vapor de agua que se logro generar al interior del empaque en algunas muestras, permitió que se formaran espacios para que las moléculas de oxígeno que lograron difundirse desde el exterior a través del empaque, se acomodaran y dieran inicio a reacciones de oxidación enzimática y por lo tanto de degradación.

Durante esta etapa, los sólidos solubles totales no variaron y se mantuvieron constantes durante todo el período de almacenamiento. lo que indica que en los proceso metabólicos (respiración) que tuvieron lugar en el producto empacado, el consumo o degradación de las reservas energéticas (almidón para el caso del ñame) no se llevo acabo de manera marcada; esto quizás en gran parte debido a las condiciones anaeróbicas

a las que estaba expuesta el producto, ya que cuando se empaca al vacío los niveles de O<sub>2</sub> disminuyen hasta 1% (Parry, 1993).

## 5. CONCLUSIONES

El ñame espino (*Dioscorea rotundata Poir*) mínimamente procesado se conserva mejor empacado bajo condiciones de vacío y en una película de permeabilidad baja al oxígeno y al vapor de agua, como el flexible de 70 micras o el BOPP/LDPE. Estas condiciones garantizan un tiempo aproximado de vida útil para el producto de 30 días.

El empacado del producto con una mezcla de gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>) no resulta ser una alternativa de conservación favorable, ya que el tiempo de vida útil del producto bajo este método de modificación de la atmósfera es relativamente corto (Aproximadamente De 6-10 días) y las condiciones de calidad del mismo se ven afectadas, es decir la apariencia comercial del producto después de cierto tiempo de almacenamiento no resulta ser favorable debido a coloraciones oscuras que se generan como consecuencia de la oxidación enzimática y a otros factores críticos de calidad (olor, sabor), producto de reacciones metabólicas secundarias.

El empaçado al vacío en comparación con gases para nuestro caso, representaría una opción desde el punto de vista de costos mucho más viable ya que los rubros en los que se incurriría serían menos que con gases.

Por otro lado, para el empaquetado en atmósfera modificada la tasa de respiración generalmente proporciona una medida de la demanda de O<sub>2</sub> al interior del empaque; de igual manera constituye un buen indicador de la actividad metabólica de los tejidos y la vida útil del producto en el almacenamiento.

## 6. RECOMENDACIONES

- El ñame es un tubérculo que ofrece grandes bondades desde el punto de vista culinario, por lo tanto sería conveniente realizar una caracterización bromatológica de los ñames mínimamente procesados empaçados al vacío; así como una prueba sensorial en la que se puedan evaluar otros atributos de calidad como la palatabilidad. Para de esta manera garantizar la inocuidad del producto y la conservación de su calidad desde el punto de vista nutricional.
- Dentro de las variables de estudio, debe considerarse la pérdida de peso como un factor importante al momento de evaluar y determinar el comportamiento del producto empaçado bajo esta forma de conservación; ya que ésta nos puede ofrecer una medida importante de que tanto pueden estar variando las reservas energéticas del producto en estudio.
- Debe garantizarse en los ñames mínimamente procesados un tamaño y una forma mucho más uniformes, las cuales favorezcan una mejor presentación y facilite por ende la conservación del producto.

- El ñame al igual que cualquier otro producto que se desee empacar bajo la tecnología de atmósfera modificada, debe ser sometido antes del empacado a un adecuado proceso de limpieza y desinfección, el cual garantice la inocuidad del producto desde el inicio y la efectividad del empacado y conservación en general.
- Durante la operación de pelado y troceado debe tratarse en lo posible de llevar a cabo correctamente estas labores, ya que en un pelado inadecuado se pueden dejar partículas o residuos de cáscaras en el producto a empacar, que más tarde durante el tiempo de conservación pueden causar alteraciones indeseables en los atributos del producto.
- Para futuras aplicaciones, tratar los ñames antes de empacarlos al vacío con un antioxidante. De igual manera resultaría alternativo poder evaluar el comportamiento de los mismos ante una mezcla de gases formada solo por CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>.
- El estudio de otras variedades de ñame bajo esta presentación y conservación; podría constituirse en otra alternativa al momento de identificar opciones, ya que puede que haya otras variedades que experimenten comportamientos diferentes, especialmente con gases y por ende el tiempo de conservación.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Aguayo, E.; Escalona, V. y Artés, F. 2001.** *Procesado en fresco y conservación en atmósfera modificada de dieciséis variedades de tomate.* Alimentación, Equipos y Tecnología, No. 160: 127-130.
2. **Alvarado, J. y Aguilera, J. 2001.** *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos.* Editorial Acribia. Zaragoza, España. p 227
3. **Álvarez, A. 2000.** *Prácticas agronómicas para el cultivo del ñame.* p 34-38. EN: **Guzmán, M. y Buitrago, G.** *Ñame: producción de semillas por Biotecnología.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
4. **ASOHOFrucOL. 2004.** *Comportamiento de la Hortifruticultura año 2002.* Guía Económica de Frutas y Hortalizas N° 2: 11
5. **Axtell, B. y Adams, L. 1998.** *Procesamiento de tubérculos.* Intermediase Technology Development Group (ITDG-Perú), Fondo de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Mujer (UNIFEM). Lima, Perú.
6. **Barrales, J.M. 1998.** *Materiales polímeros y técnicas para el envasado de productos agrícolas frescos en atmósfera modificada (MAP).* Rev. de Plásticos Modernos, Vol. 75 (499): 45-177
7. **Brecht, J.K. 1995.** *Physiology of lightly processed fruits and vegetables.* Rev. Colloquium HortScience, Vol. 30(1): 18-22
8. **Brody, A. 1996.** *Envasado de alimento en atmósferas modificada, controlada y a vacío.* Editorial Acribia. Zaragoza, España. p 79-108

9. **Carmona, G. 2001.** *Rol de la temperatura en el almacenamiento de productos frescos.* Guía Técnica Postcosecha N° 5. San José, Costa Rica. p 2-4
10. **Consumer. 2002.** *Productos de "Cuarta Gama": Verdura envasada y lista para consumir* (En línea), En: <http://www.revista.consumer.es/web/es/20020701/alimentacion/48818.jsp> (Visitado 22 de Febrero de 2004)
11. **Corporación Colombia Internacional-CCI. 2002.** *Manual del Exportador de Frutas. Hortalizas y Tubérculos en Colombia 2000: Ñame* (En línea). En: <http://www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Tuberculos/NAME/name01.htm> (Visitado 23 de Agosto del 2003)
12. **Corporación Colombia Internacional-CCI. 2002.** *Desempeño sectorial productivo 1992-2000: Tubérculos* (En línea). En: [http://www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Desempeno\\_prod/desempeno05.htm](http://www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Desempeno_prod/desempeno05.htm) (Visitado 10 de Abril de 2004)
13. **Corporación Colombia Internacional-CCI. 2002.** *Ñame: Normas de Calidad* (En línea). En: <http://www.cci.org.co/Manual%20del%20Exportador/Tuberculos/NAME/calidad01.htm> (Visitado 15 de Junio de 2004)
14. **Corporación Colombia Internacional. 2000.** *Precios del Ñame en el mercado de Estados Unidos.* Inteligencia de mercado: Precios Internacionales N° 27-ISSN 0123-8914. Bogotá D.C., Colombia.
15. **Corporación Colombia Internacional-CCI. 2002.** *Boletín CCI Exótica: Mercado Internacional del Ñame Fresco* (En línea). En: [http://www.cci.org.co/publicaciones/Exotica/exotica13.htm#Mercados\\_Internacional](http://www.cci.org.co/publicaciones/Exotica/exotica13.htm#Mercados_Internacional) (Visitado 19 de Agosto del 2003).
16. **Day, B.P. 1993.** *Frutas y hortalizas.* p 133-153. EN: **Parry. R.T.** *Envasado de los alimentos en atmósfera modificada.* Ediciones A. Madrid Vicente. Madrid, España.
17. **Estévez, A., Galletti, L. y Lizana, A. 1998.** *Atmósfera Modificada en la Conservación de Nueces Descascaradas del Cultivar Vina.* EN: 1<sup>er</sup>. Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Hermosillo, México. p 54
18. **Fernández, K. y Fonseca, J. 1998.** *Efecto del uso de Atmósferas Modificadas con niveles bajos de Oxígeno en Lechuga fresca cortada, empacada y lista para consumir.* EN: 1<sup>er</sup>. Congreso Iberoamericano de

Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Hermosillo, México. p 90

19. **Gutiérrez, H y De La Vara, R. 2004.** *Análisis y diseño de experimentos*. Editorial Mc Graw Hill, México, D.F. p 122-141
20. **Hasting, M.J. 1993.** *Packaging machinery*. p 41-62. In: **Parry, R.T.** *Principles and applications of modified atmosphere packaging of food*. Blackie Academic and Professional. London (English)
21. **Huerta, C. 2002.** *El Barbasco: Paradigma y paradoja de la riqueza vegetal de México* (En línea). En: [http://www.conabio.gov.mx/institución/conabio\\_español/doctos/barbasco.html](http://www.conabio.gov.mx/institución/conabio_español/doctos/barbasco.html) (Visitado 10 de Abril de 2004)
22. **Hurtado, J., Rodríguez, G. y Dufour, D. n.f.** *Procesamiento de dos especies de ñame (*Dioscorea alata* y *Dioscórrea rotundata* Poir): Estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina* (En línea). En <http://200.13.202.26:90/pronatta/proyectos/pdf/public/981411033c1.pdf> (visitado 16 de Junio de 2004)
23. **Lovera, R. 2004.** *El Ñame: Saga de los Tubérculos* (En línea). En: [http://www.eluniversal.com/cocina/cocizo\\_0299.htm](http://www.eluniversal.com/cocina/cocizo_0299.htm) (Visitado el 18 de Marzo de 2004)
24. **Lui, F.W. 1990.** *Sistemas de Almacenamiento Para Productos Hortícolas*. p 112-115. EN: **Yahia, E. y Higuera, I.** *Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas*. Editorial Limusa, México D.F.
25. **Instituto de Tecnología Alimentaria-INTAL. 2003.** *Documento: Anteproyecto para el desarrollo de pruebas en el Intal*. Centro de Investigación de Empaques, Medellín, Colombia.
26. **Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos- INVIMA. Decreto 3075 de 1997** (En línea). En: <http://www.invima.gov.co/version1/normatividad/alimentos/decreto%203075%20de%201997/decreto%203075%20de%201997.doc> (Visitado el 15 de Marzo de 2004).
27. **Mejía, D. Y Parrucci, E.** *Yams: Post-Harvest Operation* (En línea). En: [http://www.fao.org/inpho/compend/text/ch24\\_01.htm](http://www.fao.org/inpho/compend/text/ch24_01.htm) (Visitado 12 de Mayo de 2004)
28. **Montaldo, A., Montilla, J.J y Barrios, J.R. 1984.** *Usos de los cultivos de raíces y tubérculos distintos de la alimentación humana* (En línea). En: <http://www.redpav-spolar.info.ve/agro/v13-14/v134m016.html> (Visitado 18 de julio del 2003).

29. **Ordóñez, J.; Cambero, M.; Fernández, L; García, M.; García de Fernando, G.; De la Hoz, L. y Selgas, M. 1998.** *Tecnología de los alimentos: Componentes de los alimentos y procesos Vol. I.* Editorial Síntesis. Madrid, España. p 248-249
30. **Paine, F. y Paine, H. 1994.** *Manual de envasado de alimentos.* Ediciones A. Madrid Vicente. Madrid, España. p 254, 401-435, 483-498
31. **Palacio, C., Rodríguez, E. Hernández, M. y Quicazán, M. n.f.** *Balance de materia aplicado a la determinación de la intensidad respiratoria de frutos empacados bajo atmósfera modificada.* Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos-ICTA Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá y Instituto SINCHI de Investigaciones Amazónicas. Bogota, D.C., Colombia.
32. **Parry.R.T. 1993.** *Envasado de los alimentos en atmósfera modificada.* Ediciones A. Madrid Vicente. Madrid, España. p 13-31
33. **Pascual, M. y Calderón, V. 2000.** *Microbiología alimentaria: Metodología analítica para alimentos y bebidas.* Ediciones Días de Santos. Madrid, España. p 13-15, 17-31, 73-75
34. **Perea, M. 2000.** *Utilización de los Sistemas In Vitro para la Obtención de Plantas de Ñame (Dioscorea spp) libre de Patógenos.* p 41-43. EN: **Guzmán, M. y Buitrago, G.** *Ñame: producción de semillas por Biotecnología.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.D.C., Colombia.
35. **Perea, M y Buitrago, G. 2000.** *Aplicación de la Biotecnología Agrícola al cultivo del Ñame.* EN: **Guzmán, M. y Buitrago, G.** *Ñame: producción de semillas por Biotecnología.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.D.C., Colombia.
36. **Pérez, U. y Lozano, J. 2002.** *Manejo postcosecha y procesamiento de frutas y hortalizas.* Programa de formación de educadores. Seminario-Taller III. Universidad del Tolima y Alcaldía de Ibagué. Ibagué, Colombia. p 14-17, 74-79
37. **Ramírez, C; Roldan, A; Yepes, E. y Alzate, P. 1990.** *El cultivo del Ñame (Dioscorea spp) y sus posibilidades de Industrialización.* Cuadernos Académicos "Quirama" Recursos Vegetales Promisorios N° 10: 41-43
38. **Reid. M. y Serek, M. 1989.** *Guide to food transport-controlled atmosphere.* Mercantila Publishers, Demark. p 247

39. Romojaro, F.; Riquelme, F.; Pretel, M.; Martínez, M.; Martínez, C.; Lozarro, P.; Segura, P. Y Luna, P. 1996. *Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p 63-85
40. Sánchez, C y Hernández, L. 1997. *Descripción de aspectos productivos, de postcosecha y de comercialización del ñame en Córdoba, Sucre y Bolívar*. Rev. Temas Agrarios, Vol. 2 (4): 105-120
41. Santiago, G., Lagunez, R., Yahia, K., Benito, B. y Arellanes, J. 1998. *Efecto de la aplicación de Atmósferas Modificadas sobre la vida de anaquel del Mango (Mangifera Indica L.) cv. Oro*. EN: 1<sup>er</sup>. Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Hermosillo, México. p 51
42. Scott, G.J.; Best, R.; Rosegrant, M.W. y Bokanga, M. 1996. *Raíces y Tubérculos en el Sistema Alimentario Mundial: Visión al 2020*. (En línea). En: <http://www.cipotato.org/market/Ars7Ar99e/contenido.#top> (Visitado 19 de Agosto del 2003).
43. Scott, G.J., Rosegrant, M. y Ringler C. 2000. *Raíces y Tubérculos para el siglo 21: Tendencias, Proyecciones y Opciones Políticas*. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. New York, USA. p 25, 27 y 35
44. Schlimme, D. y Rooney, M. 1997. *Envasado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas*. p 131-173. En: **Wiley, R.** *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
45. Terry, E., Doku, E., Arene, O. y Mahungu, N. 1983. *Tropical root crops: production and uses in Africa*. In: Second Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops. Douala, Cameroon. p 14-19 y 29-32
46. Thompson. A.K. 2003. *Almacenamiento en atmósferas controladas de frutas y hortalizas*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. p 99-120
47. Thompson, A.K. 1998. *Tecnología postcosecha de frutas y hortalizas*. Serie de publicaciones del Programa Nacional de Capacitación en Manejo Post-Cosecha y Comercialización de Frutas y Hortalizas, Convenio SENA - Reino Unido. Armenia, Colombia, p 205
48. Tschannen, A. 2003. *Controlling postharvest losses of yam (Dioscorea spp) by application of gibberellic acid*. Swiss Federal Institute of Technology. Diss ETH N° 14942. Zurich, Suiza. p 6

49. **Unidad Regional de Planificación Agropecuaria-URPA.** *Evaluaciones Agropecuarias Informe de Coyuntura 2001.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobernación de Sucre-Secretaría de agricultura y ganadería de Sucre. Sincelejo, Colombia.
50. **Vargas, A. 2002.** *Factibilidad técnica de empaque de frutas mínimamente procesadas bajo condiciones de atmósfera modificada.* Informe de práctica empresarial presentado como requisito final para optar al título de Ingeniero de Alimentos. Corporación Universitaria Lasallista. Manizales, Colombia.
51. **Wheatley, C.; Scott, G.; Best, R. y Wiersema, S. 1997.** *Métodos para Agregar Valor a Raíces y Tubérculos Alimenticios: Manual para el Desarrollo de Productos.* Publicaciones CIAT, N° 269. Cali, Colombia. p 3-23
52. **Willey, R.C. 1997.** *Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesadas y Refrigeradas.* Editorial Acribia. Zaragoza, España. p 1-13
53. **Wills, R., Lee, T., Graham, D., McGlasson, W. y Hall, E. 1977.** *Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas Post-Recolección.* Editorial Acribia, Zaragoza, España. p 68-79
54. **Wong, D. 1989.** *Química de los Alimentos.* Editorial Acribia. Zaragoza, España. p 111

***ANEXOS***



## ANEXO A

Composición nutricional de una porción comestible (100g) de diversos alimentos

Compuesto	Alimento									
	Maíz (Sémola)	Papa	Plátano	Ñame	Arroz	Batata	Yuca	Frijol Común	Pan Blanco	
Agua (%)	87	0	80	74	73	71	68	69	36	
Proteína (g)	1.2	2.1	1.3	2.1	2.0	1.7	0.9	7.8	8.7	
Energía alimentaria (Kcal)	51	76	77	101	109	114	124	118	269	
Relación proteica/caloría (g/1000 Kcal)	24	27	17	21	18	15	7	66	32	
Grasa (g)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.4	0.1	0.6	3.2	
Ceniza (g)	0.6	0.9	0.7	1.0	1.1	1.0	0.6	1.4	1.9	
Calcio (mg)	1	7	-	20	10	32	-	50	70	
Fósforo (mg)	10	53	-	69	28	47	-	148	87	
Hierro (mg)	0.1	0.6	-	0.6	0.2	0.7	-	2.7	0.7	
Sodio (mg)	20.5	3	-	-	374	10	-	7	507	
Potasio (mg)	11	407	-	600	28	243	-	416	85	
Tiamina (mg)	0.02	0.09	-	0.1	0.02	0.09	-	0.14	0.09	
Riboflavina (mg)	0.01	0.04	-	0.04	0.01	0.06	-	0.07	0.08	
Niacina (mg)	0.2	1.5	-	0.5	0.3	0.6	-	0.7	1.2	
Ácido ascórbico (mg)	0	16	-	9	0	17	26	0	vestigio	

Nota: Los guiones indican la falta de datos confiables

Fuente: USDA (1975) y Wu-Leung et al. (1968) según Horton (1988) en Wheatley et al. (1997)

## ANEXO B

*Características de permeabilidad de diferentes películas plásticas de posible utilización en el MAP de productos frescos y mínimamente procesados.*

Tipo de película	Velocidad de transmisión <sup>1</sup>		
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Vapor H <sub>2</sub> O
Poliétileno de baja densidad (LDPE)	3.900-13.000	7.700-77.000	6-23.2
Poliétileno de baja densidad lineal (LLDPE)	7.000-9.300	-	16-31
Poliétileno de alta densidad (HDPE)	520-4.000	3.900-10.000	4-10
Polipropileno (PP)	1.300-6.400	7.700-21.000	4-10.8
Poliestireno (PS)	2.000-7.700	10.000-26.000	108.5-155
Poliéster (PET)	50-100	180-390	20-30
Poliámidas (PA6)	80 <sup>2</sup>	-	200
Polibutileno (PB)	5000	-	8-10
Policarbonato (PC)	4.300	-	180
Cloruro de polivinilo (PVC)	620-2.248	4.263-8.138	>8
Copolímero acetato de vinileno	8.000-13.000	35.000-53.000	60
Ionómero	3.500-7.500	9.700-17.800	22-30
Goma hidroclorada (Pliofilm)	130-1.300	520-5.200	>8
Microperforado (MP)	>15000	-	>300

*Fuente: Schlimme y Rooney (1997)*

<sup>1</sup> Las velocidades de transmisión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se expresan en cm<sup>3</sup> m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> a 1 atm de presión diferencial para película de 0.0254mm de grosor a 22-25°C en diferentes HR o en HR sin especificar. Las velocidades de transmisión del vapor de H<sub>2</sub>O se expresan en g m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> a 37.8°C y 90% de HR.

## ANEXO C

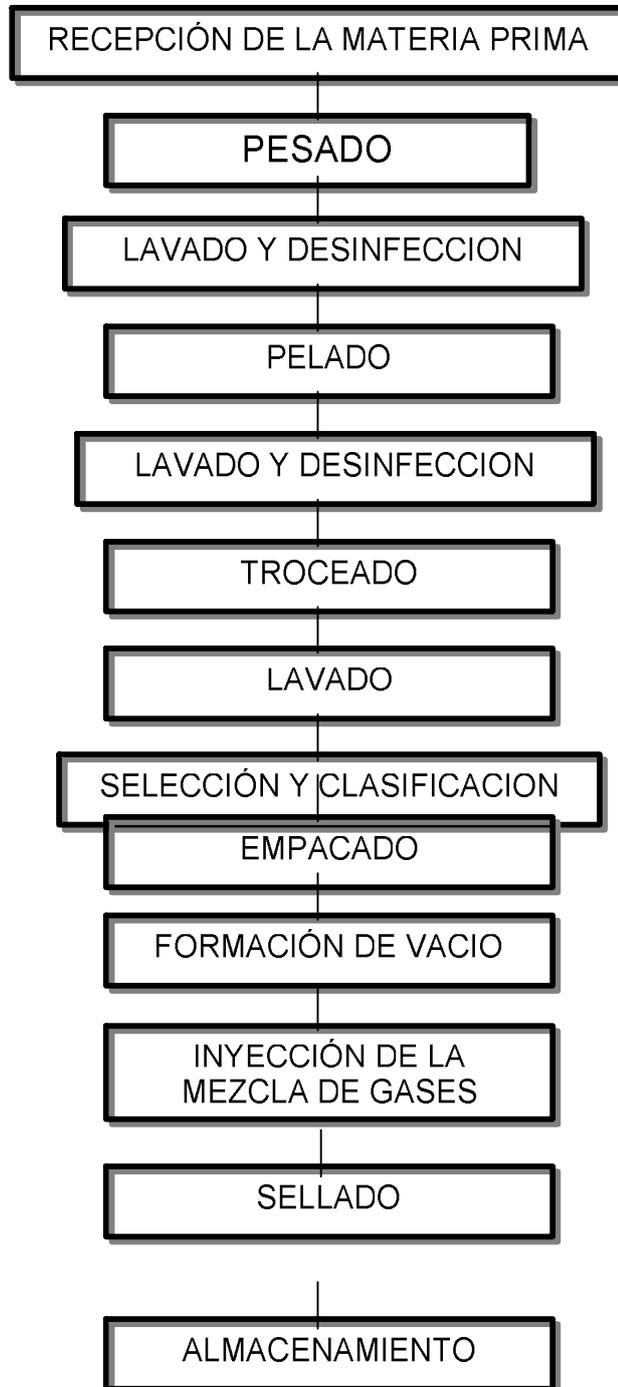
*Mezclas de gases recomendadas para el envasado en atmósfera modificada de productos hortofrutícolas*

<b>Producto</b>	<b>Temp (°C)</b>	<b>% O<sub>2</sub></b>	<b>% CO<sub>2</sub></b>
Albaricoque	0 – 5	2 – 3	2 – 3
Aguacate	5 – 13	2 – 5	3 – 10
Brócoli	0 – 5	1 – 2	5 – 10
Calabaza	0 – 5	3 – 5	5 – 7
Cereza	0 – 5	3 – 10	10 – 12
Coliflor	0 – 5	2 – 5	2 – 5
Champiñón	0 – 5	aire	10 – 15
Espárrago	0 – 5	aire	5 – 10
Espinaca	0 – 5	aire	10 – 20
Fresa	0 – 5	10	15 – 20
Kiwi	0 – 5	2	5
Lechuga	0 – 5	2 – 5	0
Mango	10 – 15	5	5
Manzana	0 – 5	2 – 3	1 – 2
Melón Cantaloup	3 – 7	3 – 5	10 – 15
Melón Honey dew	10 – 10	3 – 5	0
Melocotón	0 – 5	1 – 2	5
Papaya	10 – 15	5	10
Pera	0 – 5	2 – 3	0 – 1
Pepino	8 – 12	3 – 5	0
Piña	10 – 15	5	10
Pomelo	10 – 15	3 – 10	5 – 10
Tomate verde maduro	12 – 20	3 – 5	0
Tomate semi maduro	8 – 12	3 – 5	0

*Kader (1985) en Romojaro et al., (1996)*

## ANEXO D

*Diagrama de operaciones para el empaqueo de trozos de ñame espino  
(Dioscorea rotundata Poir) en atmósfera modificada*



## ANEXO E

*Serie fotográfica de las diversas operaciones en el empaqueo de trozos de ñame en atmósfera modificada*



## ANEXO F

*Equipos utilizados para la medición de gases y empaque en atmósfera modificada*

### Analizador digital de gases O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> marca PBI Dansensor



### Maquina empaquetadora en atmósfera modificada marca Komet Vac Plus







### ETAPA DE EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN FINAL

Película de empaque	Fecha	Tiempo	pH			% Acidez			S.S.T (°Brix)			Temp. (°C)
BOPP/PEBD		0										
		1										
		2										
		3										
		4										
		5										
		6										
		7										
		8										
FLEXIBLE		0										
		1										
		2										
		3										
		4										
		5										
		6										
		7										
		8										

## ANEXO H

### Formatos de Investigación

#### I. ETAPA PRELIMINAR A

El objetivo de esta etapa es evaluar 3 películas plásticas y 2 mezclas de gases, con el fin de determinar la mejor combinación empaque-mezcla de gases que prolongue por un período de tiempo mayor la vida en anaquel de los trozos de ñame y los conserve en óptimas condiciones.

- *Variables Independiente:*

<i>Mezcla de gases</i>	<i>Película polimérica</i>
<b>M1:</b> 5% O <sub>2</sub> , 5% CO <sub>2</sub> , 90% N <sub>2</sub>	<b>E1:</b> Polietileno de baja densidad con polietileno lineal de baja densidad (LDPE/LLDPE)
<b>M2:</b> 8% O <sub>2</sub> , 8% CO <sub>2</sub> , 84% N <sub>2</sub>	<b>E2:</b> Polipropileno biorientado laminado con polietileno de baja densidad (BOPP/LDPE)
<b>AP:</b> Atmósfera pasiva o atmósfera ambiental (testigo)	<b>E3:</b> Poliestireno (PS)

- *Variables dependiente o respuesta:* Acidez titulable (% de acidez), pH, % de gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>)
- *Unidad experimental:* 200 g/bolsa
- *Diseño experimental:* 9 Tratamientos x 1 Repeticiones. x 5 mediciones en el tiempo

#### *Combinación de Factores y Niveles*

<i>Tratamiento</i>	<i>Mezcla</i>	<i>Empaque</i>	<i>Replicas</i>
T1	MG1	E1	1
T2	MG2	E1	1
T3	AP	E1	1
T4	MG1	E2	1
T5	MG2	E2	1
T6	AP	E2	1
T7	MG1	E3	1
T8	MG2	E3	1
T9	AP	E3	1

## **II. ETAPA PRELIMINAR PARTE B**

El objetivo de esta etapa es evaluar 4 relaciones vacío/gas y 4 áreas de película (empaquete), con el fin de determinar la mejor combinación vacío/gas-área que conserve por más de 6 días como mínimo 2% de O<sub>2</sub> y que de igual forma conserve en mejores condiciones las características organolépticas de los trozos de ñame empacados. Para esto, se desea investigar el efecto de las áreas y la relación vacío/gas, en el % de gases al interior de los empaques.

- *Variables independiente:*

<b>Área de la película (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Relación vacío/gas</b>
560 (14x20)	99/69 (30%)
672 (14x24)	99/59 (40%)
806.4 (13x31)	99/49 (50%)
968.68 (13x37)	99/39 (60%)

- *Variables a medir:* % de gases
- *Unidad experimental:* 200 g/bolsa
- *Diseño experimental:* 16 Tratamientos x 1 Repetición x 5 Mediciones en el tiempo

<b>Tratamiento</b>	<b>Relación vacío/gas</b>	<b>Área de la película (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Replicas</b>
1	99/69	560	1
2		672	1
3		806.4	1
4		968.68	1
5	99-59	560	1
6		672	1
7		806.4	1
8		968.68	1
9	99/49	560	1
10		672	1
11		806.4	1
12		968.68	1
13	99/39	560	1
14		672	1
15		806.4	1
16		968.68	1

### III. ETAPA DE CONSERVACIÓN Y EVALUACIÓN FINAL

El objetivo de esta etapa es analizar y evaluar el comportamiento del ñame bajo condiciones de empaque al vacío. Para este propósito se empacaran muestras de ñame al vacío en dos películas poliméricas con el fin de determinar en cual de estas se conserva en mejores condiciones el producto y por mayor tiempo. Para ello se desea investigar el efecto de los empaques sobre el pH y la acidez de las muestras empacadas; ya que estas variables nos proporciona un indicio de si el producto esta en optimas condiciones o no y a partir de aquí establecer un tiempo de vida, en el caso de que ya estas variables muestren datos críticos.

- *Películas a evaluar (tratamientos):*
  - ✓ Polipropileno biorientado laminado
  - ✓ Flexible 70 µm
- *Variables de estudio o respuesta:* Acidez (%), pH, °Brix
- *Unidad experimental:* 200 g de producto/empaque
- *Diseño experimental:* Se evaluaran 2 tratamientos, con 3 repeticiones y 7 mediciones en el tiempo (2 trat x 3 replicas x 7 tiempo); por lo tanto se necesitaran 42 muestras (trozos de ñame empacados) con un peso de 200 g cada una. Se consideraran 6 muestras por si se llega a presentar pérdida de vacío o cualquier otro problema.
- *Análisis estadístico:* Para elegir el mejor tratamiento, se realizara un análisis de varianza a partir de un diseño de bloques al azar, en el que los bloques será el tiempo y los empaques los tratamientos.

## ANEXO I

### Caracterización del producto

Propiedades	Parámetros	Indicador
Físicas	Peso promedio <sup>1</sup>	2-4 Kg
	Peso específico <sup>1</sup>	300-500 Kg/m <sup>3</sup> Cajas, Pallets 600 Kg/m <sup>3</sup> Aprox. Bulto
	Longitud <sup>1</sup>	22-50 cm
	Diámetro <sup>1</sup>	10-15 cm
	Tamaño <sup>3</sup> Forma <sup>3</sup>	Variable Cilíndrica
Fisicoquímicas <sup>4</sup>	Sólidos solubles totales	4° Brix
	Ph	6.3
	Acidez titulable	0.0768 % Ac. Cítrico
Térmicas	Calor específico <sup>1</sup>	3.22 Kj/Kg°C-0.77 Btu/lb°F
	Conductividad térmica <sup>2</sup>	0.54 W/m k
	Difusividad térmica <sup>2</sup>	1.5 m <sup>2</sup> /s
	Calor producido <sup>1</sup>	15-30 W/Ton (20°C) 42-100 W/Ton (30°C)
Reológicas <sup>5</sup>	Tamaño del granulo de almidón	1-70 Micras
	Amilasa	10-30 % de PS
	Viscosidad máxima	100-200 UB
	Temperatura de gelatinización	69-88° C
Indice de Postcosecha <sup>1</sup>	Indice de respiración	2.538-5.077 mlCO <sub>2</sub> /Kg*h (20°C) 7.108-16.926 mlCO <sub>2</sub> /Kg*h (30°C)
	Indice de madurez <sup>4</sup>	52.08 °Brix / %Ac. Cítrico
	Temp. de almacenamiento	16°C (61°F)
	Tiempo de almacenamiento	6 meses aprox.
	Humedad relativa (HR)	60-70%
	Daños por frio	Muy sensible
	Sensibilidad a la Temp.	No es particularmente sensible
	Sensibilidad a la HR	No es particularmente sensible
	Producción de etileno	No produce
	Sensibilidad al etileno	Insensible
Organolépticas	Color <sup>3</sup>	Café (cáscara), blanco (pulpa)
	Olor <sup>5</sup>	Característico
	Sabor <sup>5</sup>	Almidonado
	Textura <sup>5</sup>	Firme

NOTA: PS significa peso seco, UB significa Unidades Brabender. <sup>1</sup>Reid, M. y Serek, M. (1989). <sup>2</sup>Alvarado y Aguilera (2001). <sup>3</sup>Thompson, K. (1998). <sup>4</sup>Experimentalmente. <sup>5</sup>Scott, et al. (2000)

# ANEXO J

## Resumen Análisis de Varianza

### Etapas Preliminar A

Design Summary					
Design class: Multi-factor Categorical					
Base Design					
-----					
Number of experimental factors: 3					
Number of responses: 2					
Number of runs: 36					
Error degrees of freedom: 12					
Randomized: Yes					
Factors	Levels	Units			
-----					
Empaque	3				
Mezcla	3				
Tiempo	4				
Responses	Units				
-----					
pH					
% Acidez					
Analysis of Variance for pH - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
-----					
MAIN EFFECTS					
A:Empaque	0.114172	2	0.0570861	7.26	<b>0.0086</b>
B:Mezcla	0.0171556	2	0.00857778	1.09	0.3669
C:Tiempo	0.342253	3	0.114084	14.52	<b>0.0003</b>
INTERACTIONS					
AB	0.0134444	4	0.00336111	0.43	0.7860
AC	0.0588056	6	0.00980093	1.25	0.3496
BC	0.0323556	6	0.00539259	0.69	0.6649
RESIDUAL	0.0943111	12	0.00785926		
-----					
TOTAL (CORRECTED)	0.672497	35			
-----					
All F-ratios are based on the residual mean square error.					
Analysis of Variance for % Acidez - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
-----					
MAIN EFFECTS					
A:Empaque	0.000371762	2	0.000185881	0.63	0.5495
B:Mezcla	0.00137861	2	0.000689305	2.33	0.1392
C:Tiempo	0.00495817	3	0.00165272	5.60	<b>0.0123</b>
INTERACTIONS					
AB	0.00230482	4	0.000576206	1.95	0.1664
AC	0.00114657	6	0.000191095	0.65	0.6922
BC	0.00344127	6	0.000573545	1.94	0.1543
RESIDUAL	0.00354296	12	0.000295246		
-----					
TOTAL (CORRECTED)	0.0171442	35			
-----					
All F-ratios are based on the residual mean square error.					

## Etapa de Evaluación y Conservación Final

### Design Summary

Design class: Multi-factor Categorical

Base Design

Number of experimental factors: 2

Number of responses: 2

Number of runs: 42

Error degrees of freedom: 28

Randomized: No

Factors	Levels	Units
Empaque	2	
Días	7	

Responses	Units
pH	
% Acidez	

### Analysis of Variance for pH - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Empaque	0.0115574	1	0.0115574	0.19	0.6704
B:Días	0.540398	6	0.0900664	1.45	0.2385
INTERACTIONS					
AB	0.299626	6	0.0499377	0.80	0.5780
RESIDUAL	1.49433	24	0.0622639		
TOTAL (CORRECTED)	2.35078	37			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

### Analysis of Variance for % Acidez - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Empaque	0.00263481	1	0.00263481	0.66	0.4251
B:Días	0.0237209	6	0.00395349	0.99	0.4554
INTERACTIONS					
AB	0.00939453	6	0.00156576	0.39	0.8773
RESIDUAL	0.0960534	24	0.00400222		
TOTAL (CORRECTED)	0.132913	37			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## ANEXO K

### *Datos de Respiración*

**Temperatura: 5.07 °C (+/-1.68)**

Tiempo (Horas)	% O <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	ml de CO <sub>2</sub> /Kg-h
0	20,7	0,2	6,08
0,95	20,4	0,9	27,36
1,98	20	1	30,4
2,92	19,8	1,1	33,44
3,95	19,7	1,1	33,44
4,85	19,5	1,1	33,44
5,95	19,5	1,2	36,48
6,88	19,2	1,2	36,48
7,96	19,2	1,3	39,52
22,82	19,1	1,3	39,52
23,94	17,7	1,9	57,76
24,94	17,6	2	60,8
25,9	17,6	2,1	63,84
26,86	17,5	2,1	63,84
28,1	17,3	2,4	72,96
28,93	17,4	2,3	69,92
29,96	17,4	2,4	72,96
30,93	17,3	2,4	72,96
31,93	17,2	2,5	76
32,93	17,3	2,5	76
49,91	12,2	5,7	173,28
50,94	12,4	5,7	173,28
51,96	12,3	5,8	176,32
53,01	12,3	5,7	173,28
54,02	12,4	5,7	173,28
54,98	12,3	6	182,4
55,08	12,2	6,1	185,44
56,95	12	6,2	188,48
71,02	11,1	6,4	194,56

**Temperatura: 27.17 °C (+/-0.82)**

Tiempo (Hora)	%O <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	ml de CO <sub>2</sub> /Kg-h
0	21	0,1	3,055
1,12	20,4	1,2	36,66
2,04	20,1	1,4	42,77
3,07	19,5	1,8	54,99
4,02	18,9	2,1	64,155
5	18,3	2,5	76,375
6,28	17,3	3,2	97,76
21,01	18	3,6	109,98
22,27	4	18	549,9

23,06	4,9	17,6	537,68
24,04	4,8	17,6	537,68

## ANEXO L

*Tasas respiratorias (ml CO<sub>2</sub>/Kg-h) de tubérculos de ñame después de cosechados, durante la dormancia y germinación*

Después de cosecha	Dormancia	Germinación	Referencia
5.7-13	1.81-3.62	5.7-7.5	<i>D. trifida</i> , 25°C <sup>1</sup>
13	2.5	16.75	<i>D. rotundata</i> , 25°C <sup>2</sup>
4.53-11	2.94-4.1	4.53-15.62	<i>D. rotundata</i> , 25°C <sup>3</sup>

Fuente: <sup>1</sup> Daudet (1980), <sup>2</sup> Passam et al. (1978) y <sup>3</sup> Coursey y Russell (1969).  
En Tschannen (2003)