

# Aplicación de la tecnología de atmósfera controlada para la conservación de la granadilla\*

Javier Arturo  
Orjuela Castro<sup>2</sup>

Adielht Lucero  
Pinilla Ortiz<sup>3</sup>

José Rafael Rincón  
Murcia<sup>4</sup>

## RESUMEN

Colombia cuenta con un sin número de variedades de frutas, el nivel de exportaciones a Europa se ha venido incrementando significativamente aportando a mejorar su balanza comercial. Para mantener el nivel de competitividad, que coloque a Colombia en el primer lugar entre los exportadores del mercado mundial de la granadilla, es necesario mejorar y mantener cada vez más, la calidad de la fruta. La granadilla (*Passiflora Ligularis* Juss) es una fruta tropical que tiene excelentes características nutricionales y un alto consumo en estado fresco (ventaja comparativa).

El propósito de esta investigación fue retrasar el proceso de maduración de los frutos de la granadilla mediante la Tecnología de Atmósfera Controlada. Para tal fin se combinó mezclas con porcentajes de 3 y 6 % de O<sub>2</sub> con 3 y 6% de CO<sub>2</sub>, un testigo refrigerado y un testigo al medio ambiente un total de 14 unidades de observación.

Se seleccionaron frutos provenientes del mismo lote, se clasificaron en el grado 4 de maduración, según carta de colores, y de ellos se tomaron muestras de 1 Kg para empacarlas en cámaras previamente desinfectadas. Las cámaras utilizadas fueron envases de vidrio a las que se les acondicionó tapones y dos válvulas de 1/4" para inyectar y controlar la composición de las mezclas, con anterioridad se probó la estanqueidad de los gases.

Durante 20 días, cada 24 horas se analizó la composición de cada mezcla y se incorporó una similar a la inicial. Al final de la experimentación, se concluyó que los frutos sometidos a las atmósferas retrasaron su maduración. Al realizar análisis de varianza, del cociente respiratorio y del índice de madurez, así como el panel de degustación se confirmó que la atmósfera compuesta por un 6% de O<sub>2</sub>, 6% de CO<sub>2</sub> y 88% de N<sub>2</sub>, presentó el mejor comportamiento. De esta manera se demuestra que esta tecnología es una alternativa válida para contribuir a solucionar el problema de mercadeo de la granadilla, dado que puede demorarse la maduración de la fruta en más de 21 días, permitiendo exportar por vía marítima a Europa y otros países lejanos.

**Palabras clave:** Atmósfera Controlada, granadilla, frutas, conservación, competitividad, ventaja comparativa.

## ABSTRACT

Colombia has a great number of varieties of fruits, the level of exports to Europe has come increasing contributing significantly to improve its trade balance. To maintain the level of competitiveness that places Colombia in the first place among the exporters of the world market of the maypops, it is necessary to improve and to maintain the quality of the fruit. The maypops (*Passiflora Ligularis* Juss) it is a tropical fruit that has excellent characteristic nutritional and a high consumption in fresh state (comparative advantage).

The purpose of this investigation was to retard the process of maturation of the fruits of the maypops by means of the Technology of Controlled Atmosphere. For such an end was combined mixtures with percentages of 3 and 6% of O<sub>2</sub> with 3 and 6% of CO<sub>2</sub>, a refrigerated witness and a witness to the environment a total of 14 observation units.

Fruits coming from the same lot were selected, they were classified in the grade 4 of maturation, according to letter of colors, and of them they took samples of 1 Kg to pack them in previously disinfected chambers. The utilized chambers were glass containers to those that were conditioned plugs and two valves of 1/4" to inject and to control the composition of the mixtures, previously the estanqueidad of the gases was proven.

During 20 days, every 24 hours the composition of each mixture was analyzed a similar to the initial mixture. At the end of the experimentation, was opposing that the subjected fruits to the atmospheres retarded their maturation. When carrying out variance analysis, of the breathing quotient and of the index of maturity, ace well ace the tasting panel was confirmed that the atmosphere composed by 6% of O<sub>2</sub>, 6% of CO<sub>2</sub> and 88% of N<sub>2</sub>, presented the best behavior. This way it is demonstrated that this technology is an alternative been worth to solve the problem of marketing of the maypops, because the country only exports at the present time 2% of the total of its production.

**Key words:** Controlled atmosphere, maypops, fruits, conservation, competitiveness, comparative advantage.

<sup>1</sup> Miembro Grupo de Investigación GICIC, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<sup>2</sup> UNAD

<sup>3</sup> UNAD

<sup>4</sup> Proyecto de investigación auspiciado por la empresa Cryogas Boc Gases.

## INTRODUCCIÓN

El gobierno colombiano en el plan exportador (10) genera políticas con el propósito de consolidar la estructura productiva nacional y prepararse para los retos que la competitividad internacional, ha definido como dos de los objetivos estratégicos “aumentar la oferta exportable de bienes y servicios en función de la demanda” y regionalizar la oferta exportable. En este contexto, acorde con la política nacional para la productividad y competitividad y en proceso de preparación para la incursión de Colombia al ALCA (Área de Libre Comercio de las Américas), se enfoca en la formulación y desarrollo de estrategias competitivas (11).

En el mismo sentido, Colombia cuenta con un sin número de variedades de frutas y su exportación ha contribuido en la última década a este propósito, el nivel de exportaciones a Europa se ha venido incrementando significativamente aportando a mejorar su balanza comercial. Para mantener el nivel de competitividad, que coloca a Colombia en el primer lugar entre los exportadores del mercado mundial de la granadilla, es necesario mejorar y mantener cada vez más, la calidad de la fruta. La granadilla (*Passiflora Ligularis* Juss) es una fruta tropical que tiene excelentes características nutricionales y un alto consumo en estado fresco (ventaja comparativa). Desde 1990 la demanda en el mercado Colombiano y en países como Alemania, Holanda, Inglaterra y Francia, estimuló su siembra en más de 1000 hectáreas (13).

Colombia produjo 18.495,42 ton en el 2001 de granadilla, la cual fue comercializada en su totalidad para mercados extranjeros, debido a los altos costos que genera el transporte aéreo. En Colombia se cultiva la granadilla, en las siguientes regiones: Antioquia 6.524,3 ton/año, Boyacá 28 ton/año, Caldas 160 ton/año, Chocó 720 ton/año, Cundinamarca 83,5 ton/año, Huila 56 ton/año, Quindío 294,22 ton/año, Risaralda 2.952 ton/año, Santander 1.590 ton/año, Valle 6.115,4 ton/año. (15).

Colombia en la actualidad exporta 714.096 Kilos/año, a los siguientes países por vía aérea: Alemania 15%, Austria 6%, Bélgica 6%, Luxemburgo 6%, Dinamarca 5%, España 5%, Finlandia 6%, Francia 10%, Holanda (Países bajos) 25%, Italia 1%, Noruega 6%, Reino Unido 7%, Suecia 6%, Suiza 2%, Canadá 8%, Brasil 2%, México 3%, Venezuela 30%. (7)

A parte de la calidad de las frutas dos factores inciden en su consumo en Europa, por una parte la costumbre de consumir productos frescos y cultivados orgánicamente y por otra el no uso de químicos en la preservación. Uno de los elementos que ha limitado la exportación de la granadilla a Europa es su perecibilidad, por lo tanto las exportaciones han venido realizándose por vía aérea, dado que el transporte vía marítima tiene una duración de 20 días, el producto en este tiempo presenta altos niveles de

maduración. La conservación por medios físicos se convierten en una alternativa importante para solucionar esta situación.

Esta Investigación presenta la aplicación de la tecnología de atmósfera controlada (AC) para la conservación de la granadilla (*Passiflora Ligularis* Juss), y tiene como propósito fundamental lograr acondicionar, el almacenamiento de la fruta, mediante la tecnología (AC) para prolongar la vida útil y conservar sus características fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales.

De aquí se deriva el problema de investigación, ¿Cuáles son las condiciones de almacenamiento en atmósfera controlada necesarias para retrasar la maduración de la granadilla, que permitan conservar las características físico-químicas y organolépticas?.

Se presenta inicialmente un marco teórico y conceptual, algunos antecedentes de la aplicación de la tecnología, de la maduración, respiración, posteriormente los materiales, métodos, equipo empleados en la experimentación, el diseño experimental y finalmente los resultados y las conclusiones.

## I. GENERALES DE LA GRANADILLA

**Ubicación taxonómica:** Reino vegetal, Subreino Angiospermophyta, Clase Dicotiledónea, Subclase Archichamydae, Orden Parietae, Familia Passifloraceae, Género *Passiflora*, Especie *Ligularis* juss. (*Manejo post-cosecha y Comercialización de Granadilla. SENA 1998*).

**Descripción botánica:** La planta es enredadera de ramas largas, hojas acorazonadas, raíz radiada y tallos cilíndricos ricamente estriados con nudos cada 12 a 15 cm. En cada nudo se encuentran dos estipulas y dos yemas florales, un zarcillo, una yema vegetativa y una hoja acorazonada grande. La base del peciolo de la hoja está provista de 4 a 6 glándulas alargadas llamadas lígulas, de allí su nombre específico: *Ligularis*. La flor tiene forma de campana verdosa al exterior y blanca en su interior formada por dos series de cinco sépalos cada una. Los pétalos son tubulares, de color blanco y lila, forman una corola de dos series con 43 pétalos al exterior y al interior, simulando una corona, por eso la llaman la flor de la pasión. (Figura 1). El desarrollo floral se da en este intervalo: de botón a cartucho, 20 días; de cartucho a flor abierta, un día; de flor abierta a fruto fecundado, un día, y de fruto fecundado a maduro, 70-80 días. La floración puede ser estacionaria o continua y depende del manejo del cultivo (podas, fertilización), la localización y las condiciones climáticas. El fruto posee 10 cm. de diámetro cuando está bien desarrollado, es duro, aunque quebradizo, pecos y amarillo en la madurez. La polinización es cruzada, entomológica, la realiza principalmente el abejorro negro (*Xilocopa* sp) y la abeja melífera (*Apis mellifera*). (13).

Según estudios realizados por el Convenio SENA - Reino Unido, la exigencia de los mercados locales o extranjeros demandan una fruta redonda, contenido alto de pulpa, corteza no muy gruesa ni delgada, en su estado maduro debe presentar un punteado blanco formando seis líneas longitudinales, en un fondo amarillo; el epicarpio: Cubierta natural delgada; hace que la fruta aparezca lustrosa, sin necesitar ceras artificiales para ganar apariencia externa, protege al fruto de cambios bruscos de temperatura. El excorio o cáscara de apariencia lisa, delgada, dura, y quebradiza, el mesocarpio tejido esponjoso, blanco, saco donde se albergan el arilo (endocarpio), dulce mucilaginoso y aromado que recubre la semilla. (Figura 2). (13).

El jugo de la fruta tiene alto contenido de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) que aumenta como producto de la hidrólisis del almidón a medida que madura. Caso contrario ocurre con la pectina, que se hidroliza a medida que madura la fruta disminuyendo su porcentaje. En este proceso la fruta se hace menos ácida, aumenta el pH, que pasa de 4,3 a 4,6 cuando alcanza la madurez total. El fósforo es el elemento más abundante en el jugo de la granadilla, pero es pobre en hierro; mientras que la semilla es rica en calcio, fibra y aceites. Lo anterior incide en la maduración porque el fósforo es el encargado de transportar la energía generada por los azúcares y por lo tanto en su proceso metabólico se genera la maduración de la fruta, lo cual se manifiesta con la variación de pH.

La fruta de granadilla contiene, además esteroides, taninos, fenoles, pectinas, lactosa; y ácidos orgánicos como el láctico, málico, succínico, tartárico; no presenta alcaloides, saponinas ni flavenoides. Para conservar la calidad del fruto, no sólo son importantes las cualidades morfológicas sino también las sensoriales; por tanto, se debe evitar el agrietamiento de la corteza en las labores de cosecha y post-cosecha. (12).

## II. TECNOLOGÍA DE ATMÓSFERA CONTROLADA

La Atmósfera Controlada es la disminución del O<sub>2</sub> y aumento del CO<sub>2</sub>. Esta técnica se usa frecuentemente en cámaras frigoríficas cuyo diseño, construcción y equipo complementario son similares a los de una cámara convencional, desde luego que con las modificaciones indispensables para lograr una estanqueidad (permanencia en un recinto cerrado para llevar a cabo la técnica de la atmósfera controlada) adecuada de los gases de paredes, piso y techo del recinto utilizado. (1).

Básicamente la atmósfera controlada es una combinación de la refrigeración convencional, junto con el control de las concentraciones de oxígeno y de anhídrido carbónico. Se consigue aumentar el período de conservación de los productos, para períodos mayores de 4 meses, este método presenta mayores ventajas que la refrigeración convencional dado que conserva frutos sensibles a las bajas temperaturas por que la AC utiliza temperaturas un poco más elevadas, gracias a que esta tecnología mantiene la humedad relativa alta, las pérdidas de peso por transpiración y respiración son relativamente bajas (9).

Después de largos períodos de almacenamiento, los atributos de calidad: color, olor, dureza de la pulpa y jugosidad, se mantienen, debido al triple efecto del frío y las concentraciones adecuadas de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, se reducen las alteraciones producidas por hongos, produce un apreciable descenso en el máximo climatérico de la fruta y amplía el periodo pre y post-

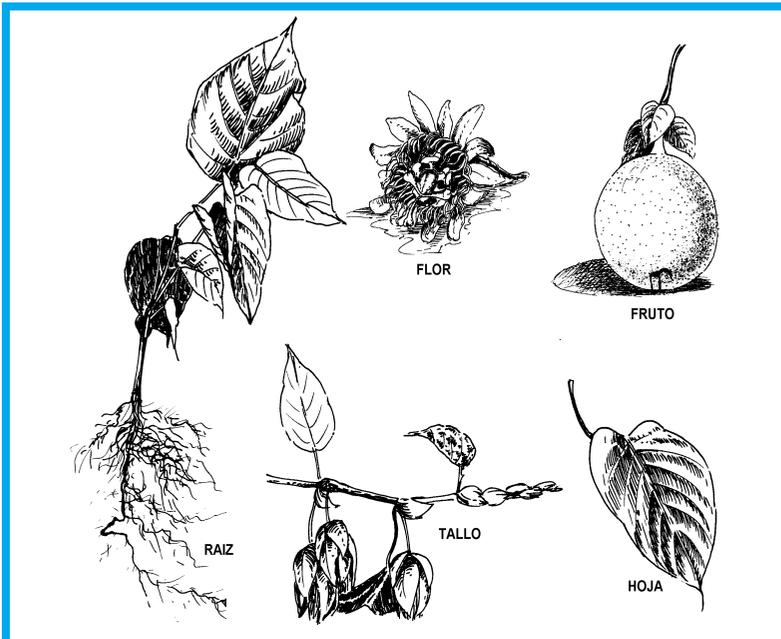


Figura 1. Partes de la planta de granadilla

Fuente: Manejo post-cosecha y Comercialización de Granadilla. SENA 1998.

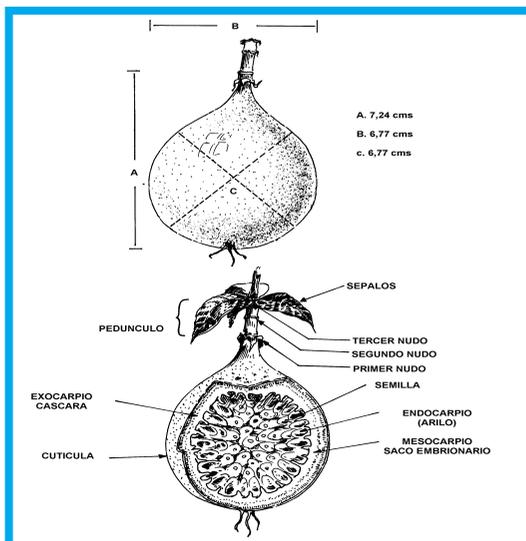


Figura 2. Caracterización morfológica del fruto

Fuente: Manejo post-cosecha y Comercialización de Granadilla. SENA 1998.

climático, se ha observado que los frutos conservados en AC maduran más uniformemente que aquellos madurados al medio ambiente. (9).

En contraposición a las ventajas enunciadas presenta las siguientes desventajas; al utilizar concentraciones muy bajas de Oxígeno y muy altas de Anhídrido Carbónico, se puede producir respiración anaerobia y fermentación alcohólica, afectando así el sabor de los frutos. Las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> (10 al 12 %) puede ocasionar una pérdida considerable de azúcares al disminuir el proceso de conversión de polisacáridos a disacáridos, produciendo pérdida de aromas y aumento de acidez y es una tecnología costosa, especialmente por el diseño de la cámara requerida. (9).

La tecnología de atmósferas controladas se viene utilizando en Europa para el almacenamiento de muchas frutas y hortalizas con el objeto de garantizar la seguridad alimentaria de este continente puesto que, en contraposición a lo que ocurre en los países tropicales, allí no existe la posibilidad de producir y mantener un abastecimiento continuo de estos productos a lo largo de todo el año.

El profesor Harald Hansen, Director Científico del Instituto Federal de Investigaciones Alimentarias de Karlsruhe, Alemania Occidental, realizó investigaciones en cooperación con la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y otras entidades, sobre el transporte de frutas, verduras y flores de exportación (3), encontrando los siguientes resultados:

A igual nivel de infestación de microorganismos, se reduce el desarrollo de éstos a medida que aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> con 15% de CO<sub>2</sub> se mejora el proceso, y en el caso del 20% es prácticamente óptimo, no hay crecimiento de hongos.

En una mezcla de 5% de CO<sub>2</sub> y 2% de O<sub>2</sub> a 1°C y, a pesar de ello, no se ha logrado suspender totalmente el desarrollo de los hongos. En general a niveles del 15% de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se observó que el desarrollo de color de la fruta es normal, pero a un nivel del 20% de CO<sub>2</sub> este desarrollo disminuye apreciablemente; gran parte de este trabajo de investigación se realizó en el Brasil.

La influencia de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> 30% y a 15°C en fresas, se observa un producto sano; a iguales condiciones de temperatura y humedad relativa, pero en atmósfera normal de aire se observa que el producto se ha deteriorado. La mejor concentración de gas carbónico (CO<sub>2</sub>) para la conservación de fresas es de 20%.

El último desarrollo para el transporte en contenedores denominado "Freshtainer", tiene 20 pies y con él existe la posibilidad de ajustar el nivel de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en la atmósfera, la temperatura y la humedad relativa para la fruta que se desee conservar. El con-

tenedor cuenta con un aparato de medición y un computador. El programa, se puede escribir a través de télex; la cinta de télex se introduce en el computador y así queda automatizado el control de todas las mediciones mencionadas. Un aspecto importante para el uso adecuado del contenedor es el diseño de los empaques. (3).

### III. BIOQUÍMICA DE LA MADURACIÓN (12)

La maduración es el resultado de un complejo conjunto de transformaciones, muchas de las cuales son probablemente independientes entre sí. En la maduración, la respiración y la producción de etileno han recibido una atención prioritaria a la hora de intentar explicar el mecanismo del proceso de la maduración.

#### • FISIOLÓGIA DE LA RESPIRACIÓN

Puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para las reacciones sintéticas celulares. La respiración puede tener lugar en presencia de oxígeno (respiración aeróbica) o en su ausencia (respiración anaeróbica, a veces denominada fermentación).

La actividad respiratoria es más alta en las fases previas a la maduración y declina luego con la edad, esta actividad respiratoria aumenta de un modo muy acusado durante la maduración organoléptica, a este incremento respiratorio se le adjetiva de climático y al grupo de frutos que lo ofrecen se les clasifica como frutos climáticos.

#### Efectos del etileno

Los frutos climáticos pueden distinguirse de los no climáticos por su respuesta al etileno exógeno y por la pauta de su síntesis durante la maduración organoléptica. Todas las frutas producen pequeñas cantidades de etileno a lo largo de su desarrollo. Sin embargo, durante la maduración organoléptica los frutos climáticos lo producen en cantidades mucho más elevadas que los no climáticos. Así por ejemplo las concentraciones internas de etileno varían ampliamente en los frutos climáticos, pero no en los no climáticos en los que apenas se diferencian las tasas reinantes durante el desarrollo y las alcanzadas a lo largo de la maduración organoléptica; la exposición a concentraciones de etileno tan bajas como 0,1 a 1,0 microlitros por litro, durante un día, basta normalmente para acelerar la plena maduración de los frutos climáticos, en los no climáticos el etileno en cambio sólo acelera la actividad respiratoria, dependiendo la magnitud del incremento de la concentración de etileno a que se hayan visto expuestos.

## Biosíntesis del etileno

Generalmente se admite que el precursor del etileno es el aminoácido metionina y que la conversión del mismo en etileno, en los tejidos vegetales, exige necesariamente la presencia de oxígeno molecular. Es probable que también puedan formarse pequeñas cantidades de etileno vía la oxidación de los lípidos con participación de radicales libres. Sin embargo, todavía no ha podido aislarse, para estudios in vitro, el sistema productor de etileno de las frutas y hortalizas y sigue desconociéndose el orgánulo en el que tiene lugar la síntesis.

## • METABOLISMO AERÓBICO

La mayor parte de la energía que las frutas y hortalizas necesitan es suministrada por la respiración aeróbica, que implica la degradación oxidativa de ciertas sustancias orgánicas almacenadas en los tejidos. El sustrato normal de la respiración es la glucosa; si su oxidación es completa, la reacción global es la siguiente:

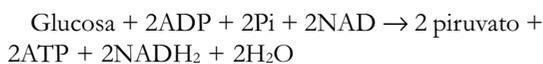


La respiración es básicamente una operación inversa a la de la fotosíntesis por la que la energía luminosa procedente del sol se almacena en forma de energía química, principalmente en carbohidratos constituidos por unidades de glucosa. La plena utilización de la glucosa implica dos secuencias de reacción fundamentales:

1. Glucosa – piruvato, vía de la ruta de Embde Meyerhof Parnas (EMP) localizada en el citoplasma.
2. Piruvato – dióxido de carbono, a través del ciclo de los ácidos tricarboxílicos (TCA) cuyos enzimas se encuentran localizados en las mitocondrias.

## La ruta EMP

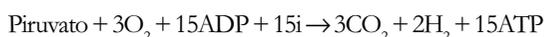
La reacción global queda equilibrada así:



La energía liberada por el sistema de reacción queda atrapada y se almacena en forma de trifosfato de adenosina (ATP) y el dinucleótido de nicotinamida adenina reducido (NADH<sub>2</sub>) dando cada molécula de NADH<sub>2</sub> origen a 3 de ATP. La energía total liberada por la conversión de la glucosa a piruvato es por tanto equivalente a 8 ATP. Esta energía es subsiguientemente convertida en disponible por el vegetal mediante la ruptura de un enlace fosfato en la reacción.

## El ciclo de los ácidos tricarboxílicos

La reacción global es la siguiente:



La energía liberada por la molécula de glucosa original (que había rendido 2 de piruvato) en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos es correspondiente a 30 moléculas de ATP (compárese con las 8 de la ruta EMP). El dióxido de carbono desprendido en la respiración aeróbica se produce en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos e implica el consumo de oxígeno. La actividad respiratoria puede medirse, por ello tanto a través de la producción de carbono como del consumo de oxígeno.

## • COCIENTE RESPIRATORIO

Esta relación es de gran utilidad cuando se intenta medir la respiración a través de intercambio gaseoso por determinación del oxígeno consumido o del dióxido de carbono producido ya que es posible que se obtengan distintas actividades respiratorias según el gas para ello utilizado. Idealmente deben medirse al mismo tiempo los cambios experimentados por ambos gases.

Para cuantificar estas variaciones se ha desarrollado el concepto de cociente respiratorio:

$$CR (RQ) = \text{CO}_2 \text{ producido (ml)} / \text{O}_2 \text{ consumido (ml)}$$

En la oxidación completa de la glucosa el cociente respiratorio vale 1,0, en tanto que en la del malato es igual a 1,3. Un cociente respiratorio elevado es generalmente indicativo de reacciones fermentativas.

Con base en este marco referencial se formulo como **Hipótesis** de la investigación: “Mediante el empleo de la tecnología de atmósfera controlada, al combinar las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono entre el 3 y 6%, respectivamente se prolonga la vida útil de la granadilla por veinte días (20), conservando sus características fisicoquímicas y organolépticas.

Definiendo como **Variables Independientes**: Las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> para ambos casos del 3 y 6 %. (Se utilizó el Nitrógeno N<sub>2</sub>: como gas de complemento para llevar la mezcla gaseosa al 100%), y como **Variables Dependientes**: Grado de maduración de la granadilla; medida a través de la determinación de los grados brix, acidez titulable, índice de madurez y la tabla de colores, teniendo en cuenta la NTC 4101.(1, 9).

## IV. DISEÑO DE LA EXPERIMENTACION

A continuación se muestra el diseño experimental y como el grupo de investigación realizo la experimentación. La experimentación fue realizada en los laboratorios de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá.

## • DISEÑO DE LA CÁMARA DE ATMÓSFERA CONTROLADA

Para definir el diseño de la cámara, fue necesario realizar varias pruebas preexperimentales e investi-

gaciones, durante seis meses y determinar la presión que resiste el vidrio y la granadilla.

La granadilla tiene una resistencia de: 7,8 Kg f/cm<sup>2</sup> equivalentes a 110,95 psi

El vidrio tiene una resistencia de: 40 Mpa equivalentes a 5.806,97 psi.

La presión en Bogotá es de: 560 mmHg que equivalen a 14,5 psi.

El diseño final de la cámara, que respondió positivamente a la pre experimentación fue un recipiente de vidrio transparente, de las siguientes características: Altura: 26 cm. Ancho: 13 cm. Radio de la base: 6 cm. Radio superior: 4 cm. Capacidad: 4250ml. Resistencia: 5.806,97 psi.

Para tapar la cámara y lograr hermeticidad, se diseñó un tapón en caucho de las siguientes características: Caucho calibre: 60. Radio superior: 4.5 cm. Radio inferior: 3.5 cm. Grosor: 3 cm. Válvula de entrada en cobre, de diámetro: 1/4", Válvula de salida en cobre, diámetro: 1/4".

#### • CÁMARA DISEÑADA E INYECCIÓN Y CONTROL DE GASES

Se calculó el tiempo necesario para realizar vacío en la cámara, mediante pruebas con un flujómetro, con este equipo fue posible medir el tiempo de paso del flujo de gas, y este fue 120 seg. Que es el necesario para desplazar la mezcla de la cámara y también el tiempo necesario de inyección.

Las cámaras de vidrio se desinfectaron con una solución del 40% de Cloruro de Benzoxonio, en cada una de ellas se colocó un kilogramo de granadilla, se tapó con un tapón de caucho provisto de válvulas de entrada y salida, se inyectó la mezcla de gases a una presión de 2 atmósferas (29 psi). La válvula de salida se abrió por 2 minutos para generar vacío en la cámara, pasado este tiempo se cerró y se ingresó la mezcla deseada durante 2 minutos, luego se cerró la válvula de entrada, y se tomó la respectiva lectura con un equipo de medición directa de análisis de gases. Finalmente se registraron los porcentajes de



O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> inyectados a la cámara, esta se llevó a refrigeración (7°C) por 24 horas, cumplido este tiempo se utilizó el mismo equipo para tomar una nueva lectura de composición de la mezcla. Este ciclo se repitió por veinte días (20). A continuación se presenta el proceso experimental llevado a cabo.

### PARÁMETROS

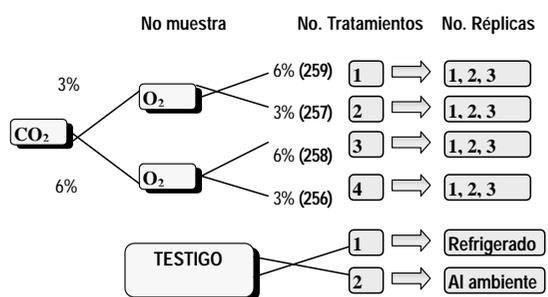
Recepción de la materia prima	Fruta tipo exportación, Grado 4 de madurez
Selección, pesado, clasificación, empaque, clasificación en cámaras	Cámara con capacidad 1Kg, Beloran 400 (Dosis 20 cm3 por 4 lt de agua.
Análisis físico - químico	pH, °Brix, Acidez titulable
Análisis organoléptico	Color, Olor, Sabor
Inyección de gases	CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>
Refrigeración	Temperatura 7°C por 20 días
Control de gases	CO <sub>2</sub> : Todos los días de tratamiento, O <sub>2</sub> : Todos los días de tratamiento
Suspensión de gases	El día 21
Análisis físico - químico	pH, °Brix
Refrigeración	Hasta deterioro de las granadilla
Análisis estadístico	Resultados y análisis

La experimentación se realizó en cámaras de vidrio, provistas de mezclas de gases (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) y expuestas a refrigeración. El número de cámaras corresponderá al número de tratamientos y al número de replicas que se definieron posteriormente.

#### • DISEÑO FACTORIAL

Tal como se enuncio Los factores específicos para determinar los tratamientos fueron: Concentración de CO<sub>2</sub>: 3 y 6 %, Concentración de O<sub>2</sub>: 6 y 3 %

A continuación se esquematizan los arreglos factoriales correspondientes a las combinaciones de los niveles de dichos factores. El número total de arreglos factoriales es P<sup>K</sup>: 2<sup>2</sup> = 4 ( P = 2 niveles, K = 2 factores) (8). Número de réplicas: 3. Por lo tanto, el Total de tratamientos fue 14 incluyendo dos testigos (uno en refrigeración y otro al ambiente).



### V. RESULTADOS

#### • MEDIAS DEL COCIENTE RESPIRATORIO PARA CADA TRATAMIENTO

El cociente respiratorio, relaciona el volumen de CO<sub>2</sub> producido y el de O<sub>2</sub> consumido así:

CR = CO<sub>2</sub> ml / O<sub>2</sub> ml. Los resultados se registran en la siguiente tabla:

MEDIA DEL COCIENTE RESPIRATORIO	
TRATAMIENTO	X COCIENTE RESPIRATORIO
259	0.935
258	0.766
257	0.875
256	0.877

Desde el punto de vista bioquímico de la maduración, cuando todos los azúcares se transforman en energía, el cociente respiratorio es igual a uno, por lo tanto, la fruta sometida al tratamiento No. 259, mostró una mayor respiración (0.935), comparado con los otros tratamientos. El comportamiento de los tratamientos 257 y 256 fue muy similar, mientras que el 258 presentó el cociente más bajo (0.766).

#### • ANÁLISIS DE VARIANZA DEL COCIENTE RESPIRATORIO PARA CADA TRATAMIENTO

El propósito de este análisis es comprobar que no hubo diferencias significativas, al nivel de significancia al 0.01, entre las replicas de un mismo tratamiento. De comprobarse lo contrario, se podría afirmar que las replicas no estuvieron sometidas a condiciones experimentales similares y por lo tanto el grado de incertidumbre del tratamiento sería muy alto. Se observa que para todos los tratamientos  $R < F$  y por lo tanto se comprueba que no hay diferencias significativas entre las replicas de un mismo tratamiento, de esta manera se garantiza que la experimentación es confiable porque las replicas de cada tratamiento se sometieron a condiciones similares(8).

#### • ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS CUATRO TRATAMIENTOS Y EL TESTIGO AL MEDIO AMBIENTE

Con este análisis se busca aprobar o rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna ( $H_1$ ), con un nivel de significancia  $F$  ( $\alpha = 0.01$ ).

**$H_0$ :** Ninguno de los tratamientos retrasa el proceso de maduración de la fruta durante los veinte días de la experimentación.

**$H_1$ :** Por lo menos uno de los tratamientos retrasa el proceso de maduración de la fruta durante los veinte días de experimentación.

En la siguiente tabla se muestra el análisis de varianza:

ANÁLISIS DE VARIANZA					
FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	RAZON F	F ( $\alpha = 0,01$ )
TOTAL	239	9.981			
CR (VET)	3	0.595	0.198	4.99	3.56
ERROR (VDT)	236	9.386	0.040		

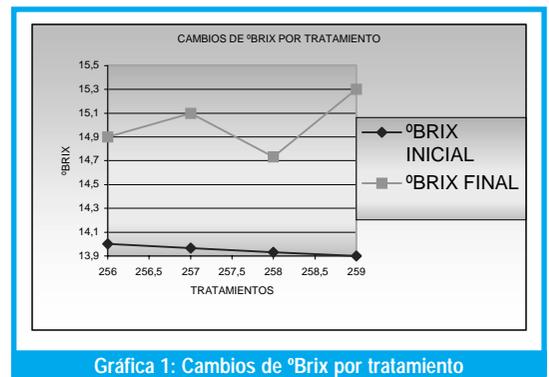
Al comparar la razón  $R$  con el valor de  $F$  para 3 y 236 grados de libertad, se obtiene que:

$4,99 > 3,56$ , Por lo tanto se rechaza  $H_0$  y se aprueba  $H_1$ , es decir que al menos un tratamiento retrasó el proceso de maduración durante los veinte días.

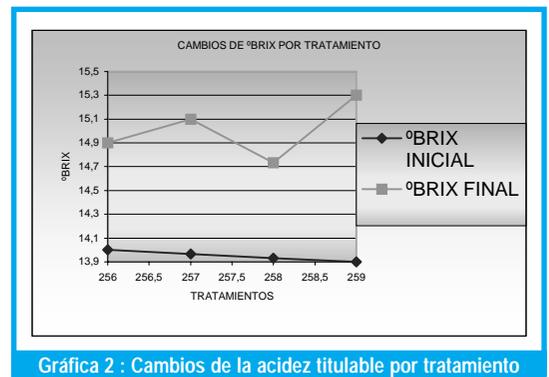
La pregunta es obvia: ¿Cuál es dicho tratamiento?, es indispensable recurrir a otros indicadores, tales como los índices de madurez, la escala de colores de acuerdo con la NTC 4101, y el panel de degustación.

#### • ÍNDICE DE MADUREZ

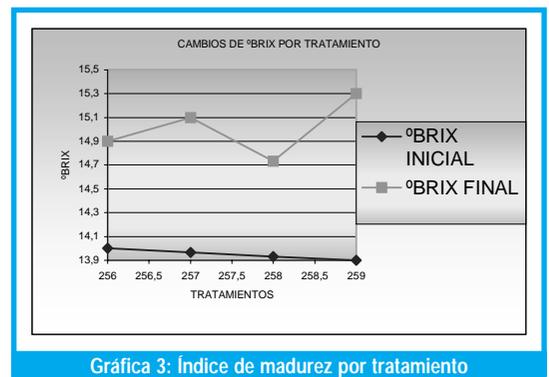
Para obtener el índice de madurez se practicaron los análisis físico-químicos de acidez titulable y grados brix ( $^{\circ}$ Brix) a cada unidad experimental (replicas) y a los testigos, tanto al primer día como al final de la experimentación. Su comportamiento se registra en las siguientes graficas 1, 2,3.



Gráfica 1: Cambios de °Brix por tratamiento



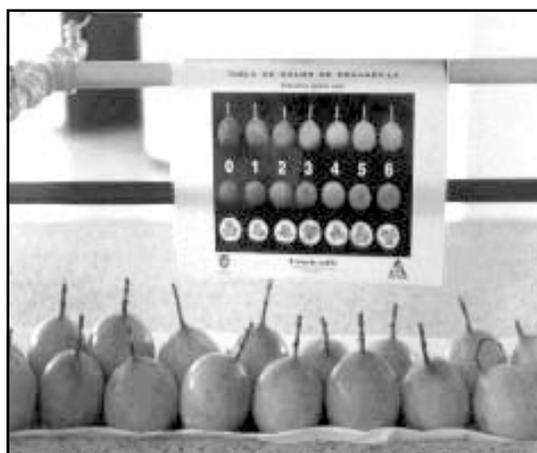
Gráfica 2 : Cambios de la acidez titulable por tratamiento



Gráfica 3: Índice de madurez por tratamiento

Índice de madurez para cada tratamiento, de acuerdo con este indicador, el tratamiento que permitió

una menor maduración fue el 258 y al contrario, la fruta que más maduró fue la sometida al tratamiento 259, como se aprecia en la siguiente grafica:



## • ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

### Tabla de colores

Durante la experimentación, día a día se registraron anotaciones de los cambios de color de las frutas, así como los cambios en el brillo de la cutícula y la presencia de manchas y mohos. La razón es por lo que estos aspectos son importantes en la comercialización de la fruta.

Al finalizar la experimentación se registraron los cambios de color, seleccionando para ello la mejor replica de cada tratamiento.

Para interpretar esta tabla, es conveniente considerar que los grados 4 y 4,5 no indican un avance importante en el proceso de maduración. Al darle un tratamiento porcentual al número de frutos por grado de maduración se concluye que:

CARACTERIZACIÓN DEL COLOR DE LOS FRUTOS					
TRATAMIENTO	No. DE FRUTOS	GRADOS DE MADURACION			
		4	4.5	5	5.5
259	8	-	-	8	-
258	8	2	3	3	-
257	8	-	1	1	6
256	8	1	3	4	-

El tratamiento 259 no logró retrasar la maduración de ninguno de los frutos.

El tratamiento 258 retrasó la maduración de los frutos en un 62,5% (5 frutos).

El tratamiento 257 logró retrasar la maduración en un 12,5% (1 fruto).

El tratamiento 256 logró el retraso de la maduración en un 50% (4 frutos).

## Panel de degustación

Al terminar la experimentación, se invitó a cuatro panelistas, no entrenados, para participar en una prueba de preferencia por ordenación. Se les pidió que calificaran la fruta más dulce con el valor de cinco (5) y la menos dulce con el valor de uno (1), los resultados se presentan en la siguiente tabla.

PRUEBA DE PREFERENCIA POR ORDENACIÓN						
No. PANELISTA	259	258	257	256	TESTIGO M.A.	TESTIGO REFRIGERADO
1	4	4	4	4	5	1
2	4	4	4	4	5	1
3	4	3	4	4	5	1
4	4	3	4	3	5	1
TOTALES	16	14	16	15	20	4

La calificación fue muy clara al señalar que el testigo expuesto al medio ambiente alcanzó el mayor nivel de sabor dulce. Las otras muestras tuvieron una calificación muy similar y los panelistas la definieron como: "Un poco menos dulce". El testigo refrigerado fue calificado como sabor muy fermentado (descompuesto).

## • PROMEDIO DE PÉRDIDAS DE PESO

Las pérdidas de peso, están asociadas a la transpiración, es decir a la pérdida de agua. Según datos de investigadores Colombianos (Villamizar 1994) la granadilla en almacenamiento normal (refrigerado 10°C) pierde hasta un 10% en veinte días. Para nuestra investigación este indicador fue menor. El testigo en refrigeración perdió un 6,4%, el tratamiento 259 perdió el 1,88%, el 258 perdió 1,46%, el 257 perdió 2,68% y el 256 perdió 2,85%. Estas pérdidas por debajo del 5% pueden explicarse, porque durante la experimentación se mantuvo una humedad relativa (HR) entre el 80 y el 85%.

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos de la experimentación se puede concluir :

Todos los tratamientos en atmósfera controlada, permitieron el retraso de la maduración de la granadilla por veinte días. Estadísticamente se comprobó la hipótesis alterna  $H_1$  mediante el análisis de varianza, al encontrar que al menos uno de los tratamientos (258) retrasó significativamente dicho proceso. Desde este punto de vista, la Tecnología de Atmósfera Controlada es un método válido para la conservación de la granadilla en el manejo post-cosecha.

El tratamiento No. 258 que corresponde a la mezcla de composición 6% de  $O_2$ , 6% de  $CO_2$  y 88% de  $N_2$ , presentó el mejor comportamiento de acuerdo con los siguientes parámetros: Media del cociente respiratorio más baja: 0.766. Índice de madurez más bajo: 31.66. De acuerdo con la tabla de colores, un 62.5% de los frutos permaneció en los grados 4 y

4.5. En el panel de degustación obtuvo la calificación más baja en el nivel de dulce con 14 puntos. La fruta expuesta a este tratamiento no solo se conservó por el tiempo de la experimentación, sino que incluso continuó su proceso de maduración hasta 14 días después de la experimentación.

El tratamiento No. 259 compuesto de 3% de O<sub>2</sub>, 6% de CO<sub>2</sub> y 91% de N<sub>2</sub>, demostró menor incidencia para retrasar el proceso de maduración. Dado que esta atmósfera era pobre en O<sub>2</sub>, la velocidad de respiración de la fruta fue mayor para aprovechar la disponibilidad del oxígeno en su proceso metabólico y por lo tanto su cociente respiratorio fue el más alto (0.935). De otra parte, el tratamiento 257 logró retrasar la maduración en un 12,5% (1 fruto). El tratamiento 256 logró el retraso de la maduración en un 50% (4 frutos).

De la misma manera y de acuerdo a las consideraciones teóricas acerca de los niveles críticos de O<sub>2</sub> y su efecto en la producción de respiración anaeróbica, se concluye que la granadilla es una fruta muy resistente a este tipo de atmósferas, porque en determinados momentos de la experimentación consumió menos del 3% de oxígeno en 24 horas.

La eficacia de la atmósfera controlada como método de conservación de la granadilla se comprueba al comparar los 4 tratamientos con el testigo refrigerado y con el testigo al medio ambiente: El testigo No.1 (refrigerado) presentó fermentación total de las frutas. El testigo No. 2 (al medio ambiente) alcanzó el grado 6 de maduración a los 10 días de iniciada la experimentación. La fruta en atmósfera controlada que alcanzó el máximo grado de maduración, correspondió al tratamiento No. 257 (O<sub>2</sub> 3% y CO<sub>2</sub> 3%) que llegó a 5.5 en 20 días, este continuó el proceso de maduración al medio ambiente y alcanzó el grado 6, trece días después; es decir, a los 33 días después de la cosecha.

La cámara utilizada en esta investigación, fue eficiente, porque garantizó la estanqueidad requerida, la impermeabilidad a los gases y permitió la entrada y evacuación de los mismos facilitando así las mediciones del caso.

Los resultados de esta investigación abren un camino, para los exportadores y concretamente para la agroindustria, dado que la utilización de atmósferas controladas, se convierte en una alternativa para disminuir la peresibilidad presentada por la Granadilla y genera un desarrollo tecnológico de factible aplicación.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BERMUDEZ, A. 1995, Bajas temperaturas aplicadas a la Industria de Alimentos. Colombia, Bogotá. Ed. UNISUR. p: 87-99.
- (2) BRAND GMBH, 1999, Catalogo general. Alemania, Wertheim. p: 226, 227.
- (3) CIAT, 1997, Cosecha y Postcosecha en el Desarrollo de las Exportaciones de Frutas Tropicales. Colombia, Palmira, Valle. p: 52-55.
- (4) GALLO, P. 1987, Manejo Pre-cosecha y Post-cosecha de la Granadilla, Producción, Manejo y Exportación de Frutas Tropicales de América Latina. Federación Nacional de Cafeteros. p: 180.
- (5) HERRERA A. 1991, Conservación de Frutos, Manual Técnico. Bilbao, Ed. MUNDI-PRENSA. p: 71
- (6) I.C.B.F., 1988, Tabla de Composición de Alimentos Colombianos. 5ª Edición. Colombia, Bogotá.
- (7) INCOMEX, 2001, Posición Arancelaria No.0810901000.
- (8) KUEHL, R. 2001. Diseño de Experimentos, Principios Estadísticos para el Diseño y Análisis de Investigaciones. México. Ed. THOMSON. p: 175-421.
- (9) MARTINEZ, G. 1988, Diseño de una Cámara para Retardar la Maduración de Mango y Guayaba. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, U. Nacional de Colombia. Bogotá. p: 78-99.
- (10) Plan Estratégico Exportador 1999-2009, Ministerio de Comercio Exterior, Colombia.
- (11) Política Nacional para la Productividad y Competitividad, Plan Decenal 1999-2009. Marzo 2002.
- (12) R.H.H. WILL. 1977, Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas Post-Recolección. Australia. Ed. CRIBIA S.A.
- (13) SALDARRIAGA, R. 1998, Manejo Post-Cosecha y Comercialización de Granadilla, (*Passiflora Ligularis* Juss). Colombia, Armenia, Quindío. Ed. MAGNITUD LTDA.
- (14) SANDOVAL, G. 1985, La Granadilla (*Passiflora Ligularis* Juss). Frutas Tropicales. Facultad de Ciencias Agrícolas, U. Nacional de Colombia, Bogotá. p: 75.
- (15) SIESA, 2001, Sistema de Información Estratégica del Sector Agroalimentario. Corporación Colombia Internacional. Colombia, Bogotá.
- (16) VILLAMIZAR, F. 1994. Almacenamiento Post-Cosecha de Granadilla (*Passiflora Ligularis*). Memorias. Primer Taller Regional de Manejo Post-cosecha, Productos de interés para el Trópico. San José de Costa Rica. p: 89.

### **Javier Arturo Orjuela Castro**

Ingeniero de Alimentos, Ingeniero Industrial, Especialista en Ingeniería de Producción, Estudios en Maestría de Investigación de Operaciones y Estadística, Profesor Asistente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. jorjuela@atlas.udistrital.edu.co

### **Adielht Lucero Pinilla Ortiz**

Ingeniera de Alimentos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD

### **José Rafael Rincón Murcia**

Ingeniero de Alimentos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD.