

DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO QUÍMICO Y FISIOLÓGICO DE *Feijoa sellowiana* EN ALMACENAMIENTO

Sandra Pilar Gallego-Corrales*; Campo Elías Riaño-Luna**; Lucelly Orozco-Gallego**

RESUMEN

GALLEGO C., S.P.; RIAÑO L., C.E.; OROZCO G., L. Determinación del comportamiento químico y fisiológico de *Feijoa sellowiana* en almacenamiento. Cenicafé 54(1):50-62.2003

Se evaluó el comportamiento químico y fisiológico de la feijoa almacenada para el establecimiento de sistemas de conservación en atmósfera controlada. Se utilizó feijoa de primera calidad (criterio comercial utilizado en fincas) y recién recolectada, proveniente del municipio de Villamaría, vereda Tejares. Se hizo la caracterización física y química y se evaluó el comportamiento fisiológico y químico a través del tiempo, de feijoa almacenada a temperaturas de 7°C, 12°C y al ambiente. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis repeticiones por tratamiento para evaluar la respiración y 18 para las propiedades químicas. El ácido ascórbico disminuyó con el tiempo bajo la interacción temperatura x tiempo de almacenamiento; el pH y la pérdida de peso aumentaron, la acidez y la dureza disminuyeron con el tiempo. La transpiración de la fruta fue significativamente menor a 7°C. A 12°C y 7°C la respiración aumentó lineal y significativamente con el tiempo de almacenamiento, mostrando tasas de 2,74 y 2,28 mg CO₂/kg-h día, respectivamente. La respiración a temperatura ambiente fue máxima en términos de CO₂ y O₂ de 139,55 y 85,23mg/kg-h (fruta climática) entre los seis y siete días de almacenamiento. La fruta debe comercializarse antes del séptimo día de almacenamiento. La reducción de la temperatura de almacenamiento favoreció el sostenimiento de los atributos de calidad de la fruta.

Palabras claves: *Feijoa*, *Feijoa sellowiana*, comportamiento postcosecha, almacenamiento, comportamiento químico, respiración.

ABSTRACT

The chemical and physical behavior of feijoa stored for the establishment of conservation systems under controlled atmosphere was evaluated. First quality (commercial criterion used in farms) and recently collected feijoa was used, it came from Villamaría municipality, Tejares village. Feijoa was stored at 7°C and at 12°C of room temperature, then its chemical and physical characterization were carried out and physiological and chemical behaviors were evaluated through time. A completely randomized design with six repetitions per treatment was used to evaluate the respiration and eighteen for the chemical properties. The ascorbic acid diminished with time under the interaction temperature x time of storing; the pH and weight loss increased, the acidity and hardness also diminished with time. The fruit transpiration was meaningfully lower than 7°C. At 12°C and 7°C the respiration increased lineally and meaningfully as well with storing time, showing figures of 2,74 and 2,28 mg CO₂/kg-h day, respectively. The respiration at room temperature was maximum in terms of CO₂ and O₂ of 139,55 and 85,23mg/kg-h (climateric fruit) between six and seven days of storage. The fruit must be commercialized before the seventh storage day. The storage temperature reduction favored the sustenance of the fruit quality.

Keywords: *Feijoa*, *Feijoa sellowiana*, post harvest behavior, storage, chemical behavior, respiration.

* Ingeniera Química. Línea de Profundización en Alimentos. Universidad Nacional de Colombia-Seccional Manizales. Pilargall@hotmail.com

** Investigador Científico II. Programa de Industrialización hasta marzo de 2002 y Biometría, respectivamente. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Las pérdidas de frutas en postcosecha en Colombia son muy altas y alcanzan valores que oscilan entre el 10-30% de la producción, frente a naciones desarrolladas donde éstas no sobrepasan el 8%. Para Colombia esto representa una pérdida anual entre 100 y 300 mil millones de pesos (12). Las investigaciones en el campo de la postrecolección pretenden contribuir a disminuir dichas pérdidas con el fin de mejorar el ingreso al fruticultor, ofrecer mejor calidad al consumidor a menor costo y además, aumentar las posibilidades de exportación de frutas, principalmente exóticas (11, 12).

Entre los principales factores de deterioro de la calidad de productos agrícolas se encuentran la respiración y la transpiración, de singular importancia en el manejo de frutas y hortalizas después de cosechadas debido a su efecto sobre las modificaciones químicas de las mismas. La ocurrencia de los cambios químicos en la fruta requiere de un suministro continuo de energía, la cual se obtiene en forma de ATP a través de la respiración. Durante la respiración, el sustrato, generalmente un carbohidrato, es oxidado y se forma entonces dióxido de carbono, agua y la energía necesaria para el trabajo metabólico (1).

Las condiciones ambientales extremas aceleran los procesos fisiológicos y reducen la vida útil de los vegetales. Los principales factores externos que afectan la respiración de las frutas y que deben manipularse mediante las diversas técnicas de conservación en fresco son: la temperatura, las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y etileno alrededor del producto (13).

En los últimos años ha tomado gran auge la utilización de técnicas de almacenamiento, transporte y comercialización de productos frescos en atmósferas controladas (CA). Esta técnica, en la cual se modifican y controlan a niveles específicos las concentraciones de

oxígeno y dióxido de carbono alrededor del producto, permite extender por más tiempo la vida útil del mismo, debido básicamente a su efecto sobre la respiración. Según Kole (9), es necesario conocer las tasas de respiración de vegetales bajo diversas condiciones para diseñar sistemas de almacenamiento en atmósfera controlada.

En Caldas, cerca del 19% del área cultivada en frutas está ocupada por frutales de clima frío entre los cuales se destaca la feijoa. Se cuenta con 20 productores con 133ha cultivadas, cuyo mercado en cinco años deberá comercializar a nivel nacional 2.014 toneladas de feijoa/año. En general se carece de información para esta fruta, para la cual no se tienen conocimientos en cuanto a patrones de calidad y comportamiento en postcosecha (4).

Según Cacciopo (3), la feijoa es originaria de Suramérica; es una baya generalmente ovoidal de sabor muy agradable que puede ser consumida en fresco o procesada. Se caracteriza por su alto contenido de yodo (3mg/100g), fibra (3,55%), vitamina C (24-37mg/100g) y sales minerales, en contraste con bajos contenidos de azúcar. Posee un sabor ácido con cierta astringencia y una piel color verde intenso, rugosa o lisa y firme, lo cual facilita su transporte. Los frutos de feijoa obtienen su madurez óptima de cosecha justo antes de la abscisión natural, pero es difícil reconocer un fruto maduro en el árbol; por tanto, para su recolección se requiere personal capacitado.

Esta investigación tuvo por objeto conocer el comportamiento de algunas propiedades químicas y fisiológicas de la feijoa durante su almacenamiento a diferentes temperaturas, que permita a nivel experimental, obtener información necesaria para el establecimiento de sistemas y condiciones de almacenamiento específicamente en atmósfera controlada, para la conservación de la fruta en fresco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló en Cenicafé (Chinchiná Caldas), en la Planta Piloto de Química del Programa de Industrialización. Se utilizó feijoa (*Feijoa sellowiana*), fruta recién recolectada (24-36 horas de recolección), que se clasificó como de primera calidad (según criterio de la finca como comercial en cuanto a longitud, diámetro y peso), proveniente del municipio de Villamaría, vereda Tejares.

Caracterización de la feijoa (*F. sellowiana*).

Para establecer la uniformidad en la madurez de la fruta, se determinaron variables físicas: peso, longitud y diámetro ecuatorial y variables químicas: pH, acidez, °Brix, dureza y vitamina C, en una muestra de 30 frutas en 8 lotes recolectados entre los meses de noviembre de 1996 y junio de 1997. Para cada variable se realizó análisis de estadística descriptiva y análisis de varianza con el fin de comparar los lotes.

Almacenamiento de la feijoa (*F. sellowiana*).

La fruta se llevó a tres temperaturas: 7 y 12°C (en refrigeradores convencionales) y temperatura ambiente; en cada condición se evaluó simultáneamente el comportamiento químico y fisiológico del producto durante su almacenamiento, utilizando para cada temperatura un lote diferente de fruta. Como criterio se consideró el hacer evaluaciones durante máximo 16 días o hasta que la fruta presentara signos visibles de deterioro; a temperatura ambiente se hicieron medidas durante 10 días de almacenamiento. Las variables químicas se midieron cada 3 días a 18 frutas (muestreo destructivo).

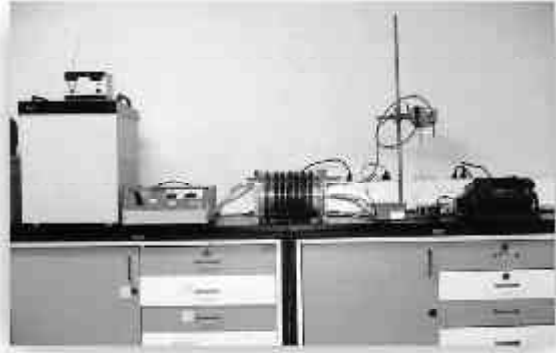
La pérdida de peso se evaluó en una balanza con una precisión de 0,0001mg y se expresó como la fracción porcentual de peso perdido diariamente por el producto con respecto al peso inicial; los sólidos solubles se midieron en un refractómetro digital directamente sobre

el jugo extraído de pulpa y cáscara, resultados que se registraron como °Brix. Para determinar la acidez, se agregaron a 5g del jugo extraído 40 ml de agua destilada; esta solución fue titulada con NaOH 0,1N hasta pH=8,2; la acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico; el pH de la muestra se evaluó antes de la titulación. El contenido de ácido ascórbico (vitamina C) se evaluó los días 0, 10 y 16 de almacenamiento según el método volumétrico del Indofenol de la AOAC. Se diluyeron 8g de muestra en 50 ml de ácido oxálico al 0,4% y se titularon alícuotas de 5ml con 2-6 diclorofenol indofenol estandarizado previo a la titulación; los resultados se expresaron como mg de vitamina C por 100g de fruta. Para evaluar la respiración se dispuso de dos cámaras herméticas, provistas de sistemas continuos de medición de presión, humedad y temperatura interna y un baño de recirculación para control de temperatura. Una vez establecidas las correspondientes temperaturas de acuerdo al tratamiento, se depositaron las frutas en las cámaras, y las variables anteriores se registraron durante una hora. Transcurrido este tiempo se extrajeron por duplicado de cada cámara muestras del gas que circundaba el producto y se determinó la composición porcentual de oxígeno y dióxido de carbono en un analizador de gases con sensor de óxido de zirconio y detector infrarrojo, respectivamente. El sistema empleado se muestra en la Figura 1.

Para la respiración se tomaron muestras de 1kg de fruta, 500g por cámara (muestreo no destructivo), y se evaluaron cada 2 días a 12 y 7°C y diariamente a temperatura ambiente. Los cálculos de respiración se realizaron usando las leyes de gases ideales y presiones parciales de Dalton y los resultados se expresaron tanto en términos del CO₂ producido como del O₂ consumido como mg del gas/kg de fruta fresca - hora.

Se calculó además el cociente respiratorio (CR) en los tres tratamientos; la respiración expresada como CO₂ producido se relacionó

Figura 1.
Sistema cerrado empleado
para medir la actividad
respiratoria de las frutas.



directamente con la respiración expresada como O_2 consumido. El valor de la pendiente multiplicado por la relación entre los pesos moleculares de O_2 y CO_2 representa el cociente respiratorio (CR).

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos con 18 réplicas para las variables químicas y 6 para la respiración, con evaluación a diferentes tiempos. Todas las variables se sometieron al análisis de estadística descriptiva y de varianza, conforme al diseño y se hizo comparación de promedios a través de la prueba múltiple de Tukey al 0,05. Se hizo un análisis de covarianza utilizando las propiedades químicas en el momento inicial como covariable, con ajuste y comparación de los promedios de tratamientos. Se calcularon para cada temperatura, las regresiones polinómicas de la actividad respiratoria de la fruta en función del tiempo de almacenamiento. Para todas las variables se realizó un análisis de varianza combinado, para evaluar el efecto de la interacción temperatura x tiempo de almacenamiento y se trabajó con niveles de significancia del 0,05; además, para las variables químicas se hizo un análisis multivariado de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la feijoa (*F. sellowiana*).
Todas las propiedades evaluadas en los

diferentes lotes de feijoa (Tabla 1), fueron significativamente diferentes, a excepción del diámetro de la fruta con un valor promedio de $39,6 \pm 0,7$ mm. La dureza ($5,5 \pm 0,4$ kg) mostró un alto coeficiente de variación 42,23%. La fruta tuvo una acidez mayor ($2,7 \pm 0,08$ %) y un pH menor ($2,9 \pm 0,02$) que los encontrados en otras variedades reportados por Cacciopo (3), no así su contenido de vitamina C ($25 \pm 1,2$ mg/100g), el cual estuvo dentro del rango citado por éste.

Los resultados anteriores demostraron que existe heterogeneidad en el grado de madurez de la fruta al momento de la recolección. Esto está asociado con la ausencia total de normas tanto para la recolección como para la clasificación. Esta última se basa en forma y tamaño de la fruta, lo cual generalmente no se relaciona con la madurez ni con la calidad de la misma.

Almacenamiento de la feijoa (*F. sellowiana*).
En este trabajo se realizaron pruebas preliminares, tanto para el comportamiento químico como para la respiración de la fruta, con el fin de estandarizar los diversos procedimientos de medida. La respiración se determinó en 500g de fruta, usando un sistema abierto de medida con adsorción de CO_2 sobre 20g de Soda Lime empacada en tubos de vidrio (14) y determinando gravimétricamente el gas desprendido por la fruta (CO_2) durante 30 minutos (5). Todos estos resultados sirvieron de apoyo a la fase experimental posterior.

Tabla 1. Características de los lotes de feijoa antes de almacenamiento*

Variables	Ambiente Lc (95%)	12°C Lc (95%)	7°C Lc (95%)
PESO (g)	67,13 ± 2,16	60,20 ± 4,49	60,54 ± 4,93
DIÁMETRO (mm)	43,85 ± 0,67	41,67 ± 1,09	44,76 ± 1,43
LONGITUD(mm)	64,62 ± 2,35	63,75 ± 2,98	63,45 ± 1,71
pH ADIMENSIONAL	2,68 ± 0,02	2,98 ± 0,039	2,97 ± 0,03
ACIDEZ TITULABLE % Ácido cítrico	3,0 ± 0,14	2,05 ± 0,17	2,06 ± 0,08
SÓLIDOS SOLUBLES (%) °Brix	12,65 ± 0,26	13,89 ± 0,29	13,67 ± 0,26
DUREZA (kg)	5,13 ± 0,74	3,21 ± 0,36	3,25 ± 0,4
A. ASCÓRBICO	23,81 ± 1,86	22,89 ± 1,5	22,86 ± 1,79

*Valores promedio de 30 frutas , expresados para fruta fresca
L C= límites de confianza del promedio

Comportamiento químico. En la fase experimental los valores promedios y límites de confianza al 95% para las propiedades químicas iniciales de los lotes usados se incluyen en la Tabla 1.

Los valores iniciales de pH, acidez, °Brix y la dureza, de los lotes usados, difieren significativamente. Esto refuerza la conclusión de estados de madurez diferentes que pueden influir sobre el comportamiento químico del producto en almacenamiento. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un análisis de covarianza teniendo como covariables las correspondientes propiedades químicas iniciales de cada lote. El comportamiento de los promedios ajustados por covarianza se presentan en la Tabla 2.

Para su análisis, las variables acidez y dureza se transformaron a raíz cuadrada de la variable, para disminuir su variabilidad y normalizarlas.

A los 10 días de almacenamiento a temperatura ambiente, las frutas presentaron deterioro de sus atributos de calidad, hecho que ocurrió tanto en las propiedades químicas como visualmente, lo cual indica una baja capacidad de almacenamiento bajo esta condición de temperatura; a los 16 días de almacenamiento a temperaturas de 7°C y 12°C, las frutas no mostraron deterioro. Estudios en Brasil registran una vida útil para feijoa inferior a una semana en condiciones ambientales (7).

A 12 y 7°C se observó una mayor persistencia en los niveles iniciales de pH, acidez y °Brix de la fruta y un efecto significativamente favorable sobre la acidez, cuando la fruta se almacenó a 7°C comparada con lo ocurrido a 12°C. La dureza presentó disminución en todas las temperaturas, al aumentar el tiempo de almacenamiento, y su comportamiento se vio favorecido con las bajas temperaturas, aunque fue más notorio después

Tabla 2. Comportamiento de los promedios ajustados por covarianza de las variables químicas de feijoa en almacenamiento.

Tiempo días	Temperatura °C	pH	Acidez Titulable ⁽¹⁾ % Acido Cítrico	Sólidos Solubles(%) °Brix	Dureza (Kg) ⁽¹⁾
0	amb	2,69 a	1,72 a	12,6 a	0,45 a
	12°C	2,95 b	1,45 b	13,87 b	0,56 b
	7°C	2,97 b	1,44 b	13,84 b	0,6 b
3	amb	2,78 a	1,64 a	12,35 a	0,55 a
	12°C	3,02 b	1,4 b	13,69 b	0,57 a
	7°C	3,03 b	1,30 b	13,54 b	0,56 a
6	amb	2,94 a	1,24 a	12,03 a	0,60 a
	12°C	3,11 a	1,34 a	13,32 b	0,59 a
	7°C	3,04 a	1,41 a	13,48 b	0,59 a
10	amb	3,13 a	1,26 a	11,61 a	0,72 a
	12°C	3,17 a	1,32 a	13,23 b	0,64 b
	7°C	3,07 a	1,37 a	13,37 b	0,59 b
13	12°C	3,15 a	1,24 a	13,01 a	0,66 a
	7°C	3,14 a	1,3 a	13,35 a	0,60 b
16	12°C	3,25 a	1,09 a	12,91 a	0,70 a
	7°C	3,23 a	1,19 b	13,35 b	0,63 b

* Promedios (de 18 frutas) con letras diferentes en columnas por tiempo, son significativamente diferentes, (Prueba con LSMEANS).

(1) Para su análisis las variables acidez y dureza fueron transformadas a $\sqrt{\text{variable}}$

de 10 días a 7°C. Los valores de °Brix disminuyeron con el tiempo de almacenamiento en las tres temperaturas y su contenido en los diferentes tiempos de almacenamiento fue mayor a 7°C, comparado con 12°C.

En la Figura 2, se observa el comportamiento de las variables químicas ya mencionadas y de la pérdida de peso del producto; en las tres temperaturas la pérdida de peso del producto (PP) aumentó linealmente a través del tiempo, pero ésta fue significativamente mayor en las frutas almacenadas a temperatura ambiente, donde la pérdida de peso total fue alta (13%) en términos comerciales; a 12°C y 7°C, la pérdida de peso total fue de 7% y 5%, respectivamente. Según Pantástico (13), pérdidas de peso superiores a 5% causan demérito considerable de la calidad del producto y, obviamente, su precio.

Según el análisis de varianza de las diferentes variables (Tabla 3), se puede concluir que la interacción temperatura x tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre: pérdida de peso, pH, acidez y dureza. Los valores de °Brix se ven afectados independientemente por la temperatura y el tiempo de almacenamiento. La vitamina C se vio afectada por la duración del almacenamiento. Después de 10 días disminuyó bajo 12 y 7°C pero su contenido fue significativamente mayor a 7°C, y según Pantástico (13), períodos prolongados de almacenamiento perjudican la preservación de los niveles de vitamina C en las frutas. Esta variable puede ser utilizada como índice de deterioro durante el almacenamiento de la fruta.

En general, se observa que existe una mayor persistencia de las propiedades químicas iniciales

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza para las variables químicas.

Factores de variación	PP ¹		pH		ACIDEZ ₍₁₎		°Brix		DUREZA ₍₁₎		Ácido ascórbico	
	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM
TEMP	2	1,10*	2	0,48*	2	0,16*	2	46,4*	2	0,02 ^{NS}	2	60,8 ^{NS}
TIEMP	15	0,45*	5	0,81*	5	0,96*	5	5,61*	5	0,12*	2	2456,5*
TEM*TIE	25	0,02*	8	0,14*	8	0,29*	8	0,78 ^{NS}	8	0,05*	3	40,01 ^{NS}
ERROR	1183	0,005	308	0,011	308	0,013	308	0,404	308	0,007	157	15,98
R ²	0,93		0,69		0,68		0,49		0,34		0,69	

* Significativo al 1%

¹ Para su análisis las variables PP, acidez y dureza fueron transformadas a $\sqrt{\quad}$ variable

F.V : Factores de variación

G.L: Grados de libertad

CM: Cuadrado medio del error

PP: Pérdidas de peso

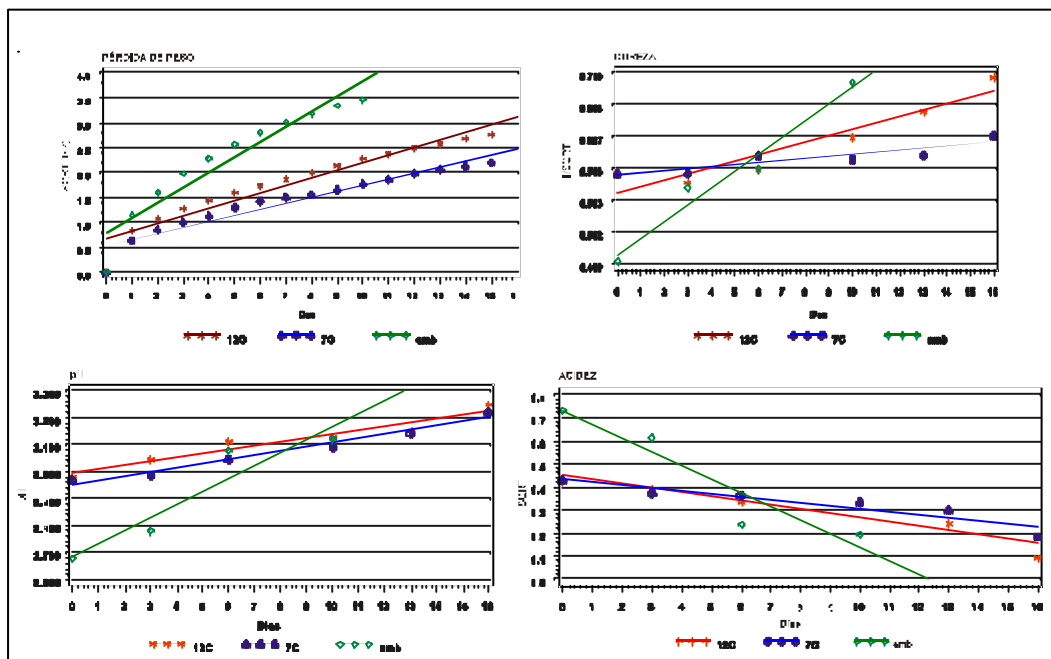


Figura 2. Comportamiento químico de feijoa durante almacenamiento a 12°C, 7°C y temperatura ambiente. Fase experimental.

de la feijoa, cuando ésta se almacena a bajas temperaturas; a temperatura ambiente las pérdidas de calidad ocurrieron a una mayor velocidad.

En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis multivariado de componentes principales; en éste se observa que las variables pérdida de peso, pH y acidez (PRIN1) y °Brix (PRIN2) influyen sobre la variación total del proceso de la fruta almacenada y permiten diferenciar dos grupos: temperatura ambiente y bajas temperaturas (12 y 7°C), este último grupo posee los mejores niveles de sus propiedades químicas (Figura 3).

Comportamiento fisiológico. Las condiciones experimentales iniciales fueron: 60,9% de humedad relativa; 24,8°C de temperatura ambiente; 0,84atm de presión total; 0,61% de CO₂; 21,25% de O₂. Estas concentraciones son las que registra el analizador (después de ser calibrado) al evaluar repetidamente muestras de aire. Se usaron 1008,99g de fruta para un volumen libre de gas en la cámara de 5,42L

(diferencia entre el volumen total de la cámara y el volumen que ocupa la masa de fruta= 1,1034L).

Las temperaturas en promedio, en cada uno de los tratamientos fueron:

Tratamiento a temperatura ambiente =
 $23,29 \pm 0,03$ (CV = 2,3)
 Tratamiento a 12°C
 $= 12,24 \pm 0,03$ (CV = 3,91)
 Tratamiento a 7°C
 $= 7,63 \pm 0,03$ (CV = 6,24)

Intensidad respiratoria. Los promedios obtenidos para la intensidad respiratoria de feijoa, expresada en términos de los dos gases involucrados en el proceso respiratorio y durante su almacenamiento bajo tres condiciones de temperatura, se muestran en la Tabla 5.

La feijoa mostró una alta intensidad respiratoria el día de recolección. Esta disminuyó durante el primer día a temperatura ambiente

Tabla 4. Resultados del análisis de componentes principales en el estudio del comportamiento químico de feijoa durante almacenamiento.

Matriz de correlación de valores propios				
	Valor propio	Diferencia	Proporción	Acumulado
PRIN1	2,943	1,718	0,490	0,490
PRIN2	1,225	0,369	0,204	0,694
PRIN3	0,856	0,251	0,143	0,837

Vectores propios				
	PRIN1	PRIN2	PRIN3	
pH	0,523	0,239	0,221	
BRIX	-0,040	-0,840	-0,270	
A. ascórbico	-0,270	0,271	0,842	
(PP) ^{1/2}	0,466	-0,343	-0,192	
(Acidez) ^{1/2}	-0,520	-0,183	-0,237	
1/(Dureza) ^{1/2}	0,398	0,113	0,028	

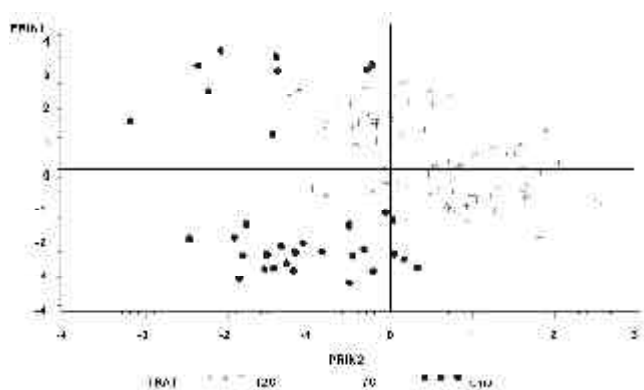


Figura 3.
Análisis de componentes principales en el estudio del comportamiento químico de feijoa durante almacenamiento a tres temperaturas. Fase experimental.

Tabla 5. Intensidad respiratoria de feijoa almacenada a 7°C, 12°C y al ambiente, en términos del CO₂ producido y el O₂ consumido*

Día	Intensidad respiratoria (mg CO ₂ - O ₂ / kg - h)											
	7°C				12°C				T. ambiente			
	XCO ₂	D.E	XO ₂	D.E	XCO ₂	D.E	XO ₂	D.E	XCO ₂	D.E	XO ₂	D.E
0	142,93	16,33	72,07	11,39	198,28	19,25	84,76	6,49	109,58	17,89	71,46	11,47
1	-	-	-	-	-	-	-	-	114,34	22,76	68,96	16,51
2	41,31	7,6	20,02	5,34	83,03	6,91	35,43	5,98	130,45	35,05	76,65	16,15
3	-	-	-	-	-	-	-	-	103,54	14,64	65,02	10,53
4	39,33	8,3	23,28	5,27	86,84	10,30	32,21	9,05	124,32	28,55	71,23	20,69
5	-	-	-	-	-	-	-	-	124,67	29,12	81,04	18,21
6	47,72	4,2	26,95	2,19	83,29	4,96	31,51	5,77	151,38	11,24	93,67	6,83
7	-	-	-	-	-	-	-	-	147,21	27,93	87,12	23,96
8	60,89	4,42	23,38	4,4	101,29	8,37	38,29	12,19	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	137,27	19,5	82,95	10,95
10	60,89	7,36	29,23	1,82	104,78	9,25	39,21	4,73	129,99	10,93	73,95	15,51
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	62,09	10,39	24,04	5,53	96,51	16,14	32,62	12,28	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	72,11	7,06	28,52	3,57	108,42	5,25	38,64	2,77	-	-	-	-
16	66,40	5,23	32,77	9,68	127,14	11,14	49,91	8,83	-	-	-	-

* Valores promedio de seis réplicas por tratamiento
D.E. desviación estándar
Se utilizó un sistema cerrado de medida

y durante los dos primeros días a 12 y 7°C, respectivamente. Se puede decir que estos corresponden a un tiempo transitorio durante el cual el producto alcanza la temperatura de almacenamiento y condiciones estables de respiración. La mayoría de autores, expresan que la actividad respiratoria de productos agrícolas es muy alta durante las primeras horas

después de recolección, de ahí la importancia del pre-enfriamiento en campo de los frutos recolectados (6, 13).

A partir del segundo día de almacenamiento se evaluaron las tendencias (lineal a 7 y 12°C, y cuadrática para la temperatura ambiente), de intensidad respiratoria en función del tiempo

de almacenamiento para cada temperatura. Las estimaciones con el método de regresión se consignan en la Tabla 6 y pueden observar en la Figura 4.

La actividad respiratoria expresada tanto en términos del CO₂ producido como del O₂ consumido, mostró una tendencia cuadrática a temperatura ambiente con un máximo de producción de CO₂ de 139,55mg/kg-h, a los 7,5 días y un máximo de consumo de O₂ de 85,23mg/kg-h a los 6,8 días. Lo anterior permitió establecer que la feijoa es una fruta climatérica. Datos comparativos reportados por Biale (2) para feijoa cv. Cooligde, muestran un mínimo y un máximo de producción de CO₂ de 68,8 y 137,5mg/kg-h a 20°C, respectivamente. A 12 y 7°C la respiración aumentó lineal y significativamente, con tasas e interceptos mayores bajo las condiciones de 12°C.

Se ha establecido que la ocurrencia del máximo o climaterio en la respiración de frutas

climatéricas, concuerda con el inicio de la fase inminente de degradación del producto; de acuerdo con esto, a temperatura ambiente la fruta debe comercializarse antes del séptimo día de recolección y almacenamiento.

La interacción temperatura x tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre la respiración de las frutas, resultados que se observan en la Tabla 7. A temperatura ambiente se favorece un aumento en la actividad respiratoria de la feijoa en contraste con valores de respiración bajos a temperaturas bajas. Se ha establecido que la temperatura ejerce una fuerte influencia sobre la respiración de frutos en general, y por ende sobre el metabolismo de estos productos (8, 13). La temperatura de almacenamiento de la fruta influyó directamente sobre su comportamiento respiratorio a través del tiempo.

Al emplear un sistema cerrado de medida se puede conocer, como se ha visto, la

Tabla 6. Regresión polinómica para la actividad respiratoria (A.R.) de feijoa almacenada a 7°C, 12°C y al ambiente, en función del tiempo.

Temperatura	Coeficientes estimados en la regresión		
	Ambiente	CO ₂	O ₂
	Intercepto	92,03*	49,11*
	Tiempo	12,67*	10,63 ^{N.S.}
	tiempo ²	-0,84*	-0,78 ^{N.S.}
	R ²	0,69	0,44
	máximo	139,55 mg CO ₂ / kg - h	85,23 mg O ₂ / kg - h
12°C	Intercepto	74,27*	29,85*
	tiempo	2,74*	0,82 ^{N.S.}
	R ²	0,80	0,64
7°C	Intercepto	35,84*	19,99*
	tiempo	2,28*	0,67*
	R ²	0,86	0,64

* significativo al 5%

^{N.S.} no significativo

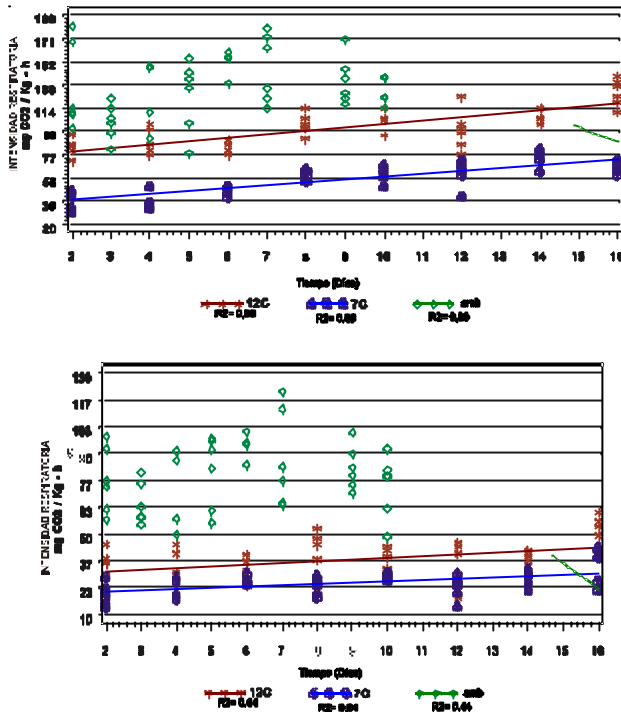


Figura 4.
Regresiones polinómicas
para la respiración de
hojas a tres temperaturas
de almacenamiento.
Fase experimental.

Tabla 7. Análisis de varianza para la intensidad respiratoria de feijoa en almacenamiento (Sistema Cerrado).

F.V	RCO ₂ ()			RO ₂ ()	
	GL	CM	Pr>F	CM	Pr>F
TEMP	2	2,04	0,0001	2,29	0,0001
TIEMPO	13	1,13	0,0001	1,45	0,0001
TEMP * TIEMPO	12	0,91	0,0001	0,82	0,0001
ERROR	126	0,004		0,0092	

R² = 0,89

R² = 0,86

⁽¹⁾ Para su análisis las variables RCO₂ y RO₂ fueron transformadas a logaritmo decimal (log10)

respiración en términos de los dos gases involucrados en el proceso; esto permite evaluar el cociente respiratorio (CR) en cada condición de temperatura. El CO₂ producido en función del O₂ consumido tuvo una relación altamente significativa con R² > 0,85. Los resultados para cociente respiratorio (CR) fueron:

*CR_{Temperatura ambiente} = 1,17 * CR_{12°C} = 1,54

* CR_{7°C} = 1,34

Los cocientes respiratorios encontrados fueron superiores a la unidad en todas las temperaturas; el valor más cercano a la unidad fue el encontrado para temperatura ambiente.

Según Kader (8), el valor de CR de productos vegetales oscila entre 0,7 y 1,3; sin embargo, aunque se presentaron valores altos a 12°C y 7°C, lo cual podría sugerir reacciones fermentativas, esta característica indeseable no se percibió en las frutas. Según Pantastico (13), los valores del CR no están únicamente relacionados con el sustrato de respiración. Al tomar como sustrato el promedio del contenido inicial de glucosa de 1,82g/100g de fruta fresca y el valor máximo de respiración de 139mg de CO₂/kg-h, se encuentra que el sustrato está en cantidades superiores a las requeridas para el proceso respiratorio, lo cual coincide con las afirmaciones de Azcon (1).

La determinación experimental de la actividad respiratoria y el cociente respiratorio del fruto a diferentes temperaturas, además de los parámetros básicos del empaque y el producto, son requerimientos muy importantes para la determinación de modelos matemáticos utilizados en la predicción de la dinámica de la microatmósfera de productos empacados en películas plásticas, los cuales están basados en ecuaciones diferenciales de primer orden.

Intensidad de Transpiración. La transpiración del producto, tal se planteó obtenerla (con el seguimiento de la humedad relativa y la presión de vapor de agua), no fue posible debido a inconsistencias en los datos. En algunas investigaciones se evalúa la transpiración del fruto a través de la pérdida de peso del producto; con la regresión obtenida para esta variable se determinó la intensidad de la transpiración (IT) de la feijoa en las tres temperaturas, la cual es la pendiente de la línea, expresada como miligramos de agua perdida por cada kilogramo de fruta fresca por hora (mg/kg).

$$* IT_{\text{Temperatura ambiente}} = 520,4$$

$$* IT_{12^{\circ}\text{C}} = 212,5 \quad * IT_{7^{\circ}\text{C}} = 135,5$$

La velocidad de pérdida de agua de la fruta fue significativamente menor a 7°C, seguida por la alcanzada a 12°C y luego por la de la temperatura ambiente. La transpiración es directamente proporcional al déficit de presión de vapor de agua (DPVA). Para una misma humedad relativa, al aumentar la temperatura aumenta el DPVA y por tanto, aumenta la transpiración del fruto (6).

Los resultados expuestos tanto en comportamiento químico como fisiológico, coinciden con la literatura en todo lo que se refiere a comportamiento poscosecha de frutas climatéricas y permiten concluir que en frutas no climatéricas, las transformaciones características de la maduración organoléptica ocurren a un ritmo más lento; estas diferencias intervienen directamente sobre las posibilidades de almacenamiento y comercialización de las frutas. En principio, se puede sugerir el ensayo de condiciones de almacenamiento en atmósfera controlada a temperaturas de 7°C (o inferiores), con niveles de CO₂ y O₂ entre 2-5% y 1,5-4%, respectivamente (teniendo en cuenta los niveles de respiración y el valor de CR).

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Industrialización de Cenicafé, a los señores Hernando García, Luis Eduardo García, Héctor Fabio Hernández y Darío García y al Doctor Juan Rodrigo Sanz de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. A Juan Mauricio Rojas y Raúl Jaime Hernández del Programa ETIA de Cenicafé.

LITERATURA CITADA

1. AZCON B., J.; TALON, M. Fisiología y bioquímica vegetal. Madrid, McGraw-Hill Interamericana, 1993. 581 p.

2. BIALE, J.B. Postharvest physiology and biochemistry of tropical and subtropical fruits. s.l., s.e., 1960. p. 293-340.
3. CACCIPOPO, O. La feijoa. Madrid, Ediciones Mundiprensa, 1988. 85 p.
5. GALLEGO C., S.P. Determinación de propiedades fisiológicas y fisicoquímicas de frutas en almacenamiento controlado. Manizales, Universidad Nacional de Colombia, 1997. 109 p (Tesis: Ingeniería Química).
6. HERNÁNDEZ J., E. Fisiología poscosecha de frutas y hortalizas. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agrícola, 1994. 85 p.
7. HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C.; KLUNGE, R.A.; BILHALVA, A.B. Influencia da temperatura e do polietileno no armazenamento de frutos de goiabeira serrana. (*Feijoa sellowiana* Berg.). Scientia Agrícola 51(3):563-568. 1994.
8. KADER, A.A. Regulation of fruit physiology by controlled - modified atmospheres. Acta Horticulturæ 398: 59-70. 1995
9. KOLE, N.K. Respiration rate and heat of respiration of some fruits under controlled atmosphere conditions. Revue Internationale du Froid 17(3):199-203. 1994.
10. LAGUADO, N.; BRICEÑO, O.; ROJO, R.; MARÍN, M.; ESPARZA, D.; MORENO L.A. DE; MOR, J.; FERRER, H. Efecto de la fertilización y el estado de madurez sobre la calidad de frutos de guayaba. Revista de la Facultad de Agronomía 12(4): 437-449. 1995.
11. LANDWEHR, T.; CARVAJAL, T.F. La importancia del manejo poscosecha de frutas en Colombia. Agricultura Tropical 31(2):33-40. 1994.
12. MACGILLIVRAY, G. Competitividad en frutas como estrategia contra la pobreza. In: SIMPOSIO Internacional de Post-cosecha. Armenia, septiembre 19-20, 1996. Competitividad en frutas. Armenia, Convenio Sena-Reino Unido, 1996. p.186-206.
13. PANTASTICO, ER. B. Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables. Westport, The AVI Publishing Company, 1975. 558 p.
14. ROBINSON, J.E.; BROWNE, K.M.; BURTON, W.G. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. Annals of Applied Biology 81:399-408. 1975.
15. WILLS, R.H.H. ; LEE T.H.; Mc GLASSON W.B.; HALL, E.G.; GRAHAM, D. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Zaragoza, Editorial Acribia, 1989. 195 p.