

Natalia del Verdún Martínez<sup>1</sup>,  
Iara Bellucci<sup>1</sup>,  
Eduardo Dellacassa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Química. UDELAR

# Capítulo 4

## Propiedades funcionales, aromas y sabores del butiá y sus productos derivados

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Las especies nativas y las variedades locales son insumos básicos para los sistemas de producción orgánica y familiar. Por ello, es un tema recurrente en estos sistemas productivos la identificación de nuevas especies nativas o subutilizadas y la revalorización de poblaciones locales y/o criollas. También es primordial el rescate y conservación de este tipo de materiales, en los cuales el rol del agricultor familiar es clave. Las posibles variedades generadas por esta práctica deben ser adecuadamente valorizadas y sus posibles formas de valorización, exploradas: denominaciones de origen, sellos de calidad, desarrollo de mercados especializados, usos y función en ecoturismo y turismo rural, entre otras.

En Uruguay se ha manifestado interés en priorizar el desarrollo de estrategias sustentables para valorizar la palma *Butia odorata*. Los palmares de *Butia odorata* ocupan unas 70.000 hectáreas y son únicos en el mundo para esta especie que es compartida en el litoral Atlántico con Brasil (Estrategia en los recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur / IICA Montevideo: PROCISUR, IICA, 2010).

El butiá puede permitir establecer nichos productivos al nivel de la zona de Rocha, constituyendo una importante alternativa productiva para la región. Se hace entonces indispensable un apropiado desarrollo tecnológico para su conservación y aprovechamiento durante la postrecolección (no sería apropiado hablar de cosecha en un sistema que funciona estrictamente por recolectores informales) tanto en fresco como procesado.

En la actualidad, y a través de iniciativas como la que da como resultado este documento, se adelanta un proceso de manejo de esta especie, abordándose aspectos agronómicos como la producción y transformación con alto potencial para hacer parte de los arreglos agroforestales requeridos. De esta manera, los volúmenes de producción aumentan, convirtiéndose en una alternativa productiva sostenible y amigable con el ambiente para las comunidades asentadas en la zona, siempre y cuando se generen los niveles de mercado adecuados.

En los últimos años la medicina ha avanzado hacia la prevención de las enfermedades, más que en su tratamiento y cura, a lo cual se vincula la recomendación de una dieta saludable que incluya verduras, frutas y granos. Numerosas evidencias demuestran que, al ser consumidos en la dieta, estos alimentos contienen compuestos (fitoquímicos) con actividades que contribuyen en la prevención de cáncer, enfermedades del corazón, derrames cerebrales y diabetes, entre otras afecciones. A su vez, las características sensoriales de las frutas y vegetales (aspecto, aroma, sabor y textura) son la razón primordial por la que los consumidores los eligen y contribuyen en forma sustancial a su aceptabilidad.

Sin embargo, resulta muy difícil realizar predicciones acerca de posibles diferencias perceptibles entre productos que se distinguen en su composición o estructura como resultado de condiciones de cosecha y poscosecha. Aún más complejo es predecir el grado de aceptación por parte de los consumidores. En el caso de las frutas se produce una gran

cantidad de compuestos volátiles que dependen de la etapa de maduración en la que se encuentran, pero solo un número pequeño de compuestos son capaces de generar el perfil de flavor que ayude a los animales y humanos a reconocer los alimentos adecuados y evitar aquellas frutas de poca calidad o que pudieren poner en riesgo la salud. En ese sentido, y como criterio hacia la búsqueda de beneficios para la salud, las preferencias de «flavors» deberían considerarse en la producción de alimentos, y especialmente en las estrategias de mejoras de variedades de frutas y vegetales, así como en el desarrollo de sus derivados.

La calidad es una percepción compleja de muchos atributos que son evaluados simultáneamente en forma objetiva o subjetiva por el consumidor (Figura 1). El cerebro procesa la información recogida por la vista, olor y tacto e instantáneamente lo compara o asocia con experiencias pasadas y/o con texturas, aromas y sabores almacenados en la memoria. Por ejemplo, con solo mirar el color, el consumidor sabe que un fruto está inma-

duro y que no posee buen sabor, textura o aroma. Si el color no es suficiente para evaluar la madurez, utiliza las manos para medir la firmeza u otras características perceptibles. El aroma es un parámetro menos utilizado, salvo en aquellos casos en que está directamente asociado a la madurez como en melón, ananá y otros. Este proceso comparativo no ocurre cuando el consumidor se enfrenta por primera vez con una fruta exótica cuyas características desconoce.

La percepción del sabor, aroma y textura que se produce al ingerirlo es la evaluación final en donde se confirman las sensaciones percibidas al momento de la compra. Esta etapa es la que genera la fidelidad. Por ejemplo, si descubro que prefiero las manzanas rojas sobre las verdes, voy a seguir consumiendo manzanas rojas. Es posible generar fidelidad hacia marcas comerciales, formas de presentación, empaque, lugares de venta, etcétera.

Las frutas y hortalizas son consumidas principalmente por su valor nutritivo,

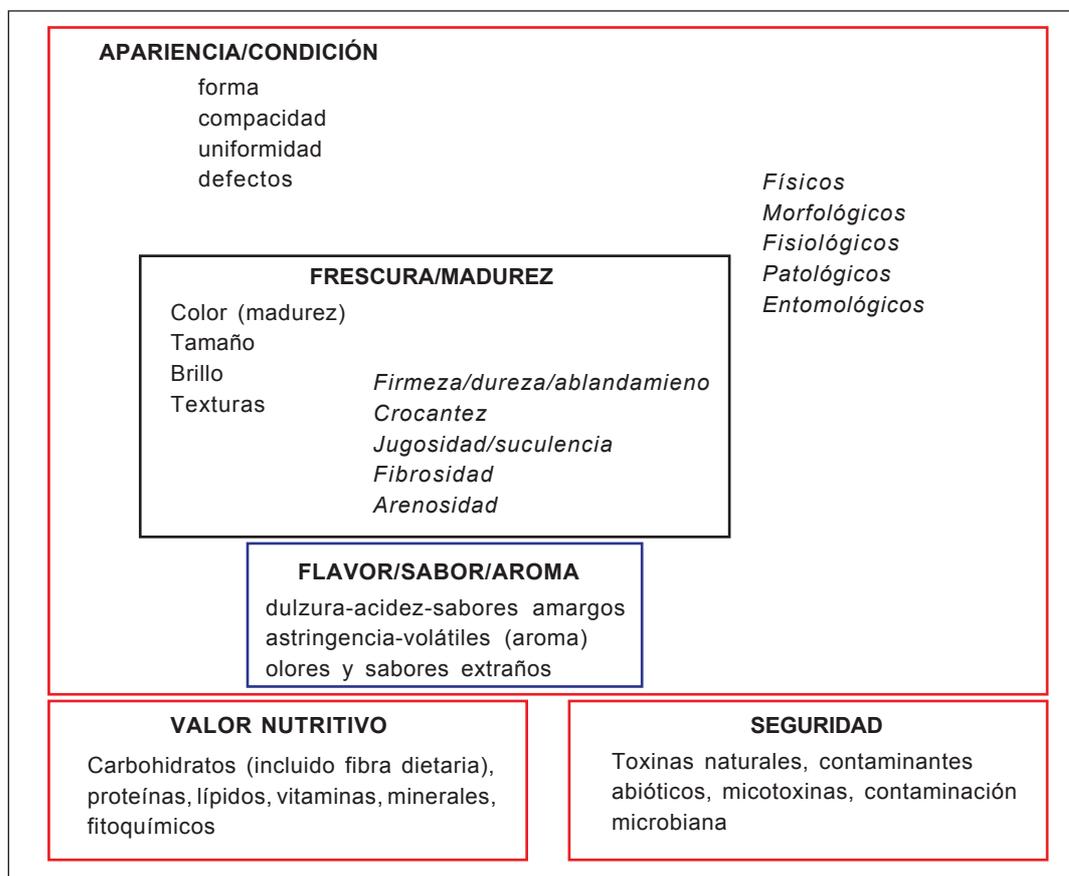


Figura 1. El impacto sensorial de la fruta y su relación con su valor nutritivo y de seguridad en su consumo.

así como también por la variedad de formas, colores y sabores que las hacen atractivas para la preparación de alimentos. Por ser consumidas crudas o con muy poca preparación, la principal preocupación del consumidor es que se encuentren libres de contaminantes bióticos o abióticos que puedan afectar la salud.

El aroma es la impresión combinada de olor y sabor sobre los órganos sensoriales. Al consumir un alimento, la interacción de las sensaciones sápidas, olorosas y de la textura produce la sensación global que se describe mediante el término inglés «flavour» (Belitz y Grosch, 1987). Los aromas dan un alto valor organoléptico al alimento a la vez que aportan el efecto de apetencia y apoyan al sistema digestivo. La calidad de un aroma determina a menudo la aceptabilidad del alimento. Los compuestos responsables de sabor son en general no volátiles a temperatura ambiente e interaccionan con los receptores gustativos existentes localizados en las papilas gustativas. El aroma típico de un alimento o bebida viene descrito por todas las sustancias volátiles presentes, que es normalmente una mezcla de cientos de compuestos de un amplio espectro de estructuras moleculares, puntos de ebullición y solubilidades (por ejemplo ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, hidrocarburos, aminas y mercaptanos) (Bomben *et al.*, 1973).

La concentración más baja de un compuesto que puede ser percibida por su olor o sabor se conoce como concentración umbral. Las concentraciones umbral dependen de la presión de vapor del compuesto, la temperatura y la composición del medio. Por tanto, son muy importantes no solo los métodos de determinación cuantitativa, sino el dictamen de los equipos de degustación.

Como sustancias aromáticas solamente se consideran los compuestos volátiles cuya concentración en el alimento sea superior a su concentración umbral. Los constituyentes del aroma particularmente importantes son aquellos responsables del aroma característico del alimento, los llamados compuestos impacto.

Las características generales del aroma de un alimento se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Los aromas producen una respuesta en el sentido olfativo del ser humano.
2. Están presentes en muy bajas concentraciones en los alimentos.
3. Son todos compuestos orgánicos, pero no están limitados a un grupo funcional específico.

No obstante, los aromas de los alimentos forman una matriz muy compleja, cuyo comportamiento durante el procesado industrial del alimento es de muy difícil comprensión. Los compuestos aromáticos presentes en los alimentos tienen altos pesos moleculares comparados con el agua y bajas presiones de vapor. Están formados por largas cadenas alquílicas que generan una fuerza repulsiva entre las moléculas de aromas y las de agua a su alrededor. Esta fuerza repulsiva se describe termodinámicamente mediante el coeficiente de actividad. La presión de vapor junto con el coeficiente de actividad determinan la volatilidad de un compuesto y, por tanto, su facilidad para escapar de un alimento.

A su vez, la calidad de un producto alimenticio se define como las características y rasgos relacionados con su capacidad para satisfacer necesidades explícitas o implícitas. Dentro de estas características se encuentran las propiedades sensoriales, el valor nutritivo, los constituyentes químicos, las particularidades mecánicas y funcionales y los defectos de un producto. No obstante, los atributos que condicionan en mayor medida la aceptabilidad del alimento por parte del consumidor son los relacionados con la calidad sensorial u organoléptica, que incluyen la apariencia, la textura, el aroma y el gusto.

Uno de los rasgos organolépticos más complejos y determinantes de la calidad sensorial es el aroma del alimento, que se puede definir como la sensación global producida por los compuestos que interaccionan con las terminaciones nerviosas sensitivas del gusto y del olfato (Czerny *et al.*, 2008). El aroma está compuesto por centenares de compuestos volátiles y semivolátiles que pertene-

cen a distintas familias químicas y que se hallan en muy variable concentración (Schieberle y Hofmann, 2011). La elevada producción y la necesidad de encontrar alimentos aromáticamente estandarizados requieren herramientas analíticas eficientes para la caracterización. Sin embargo, el umbral de percepción de las sustancias que condicionan el aroma puede variar desde  $\mu\text{g/L}$  a  $\text{mg/L}$ , pero no necesariamente por encontrarse en mayor concentración su incidencia será mayor. El impacto sensorial suele estar relacionado con las interacciones entre compuestos volátiles y entre estos y otros componentes que actúan como medio de soporte. Así, uno de los principales problemas de la determinación de la fracción aromática es la dificultad para encontrar un método que sea a la vez útil para la valoración cualitativa y cuantitativa. Además, al estudiar las sustancias que inciden en el aroma se requiere habitualmente un paso previo para aislar los compuestos de interés de los constituyentes mayoritarios de la matriz. Esto implica en muchos casos procedimientos extensos y laboriosos que con frecuencia cursan con pérdida de analitos y/o con la aparición de artefactos.

Esta situación establece la necesidad de contar con protocolos afines al trabajo de evaluación de la fruta, sitios de colecta, momentos de cosecha, características de poscosecha y procesamiento de la fruta con destino a los productos artesanales o novedosos que se pretende desarrollar. Al efectuar un análisis existe una secuencia de etapas a seguir que se inicia con la identificación del problema analítico y continúa con la elección del método a utilizar. Tras esto se procede al muestreo, se realiza el procedimiento analítico, se hace la determinación y finalmente se evalúan los resultados para emitir el informe correspondiente. En particular, un muestreo apropiado de los alimentos es central en todos los estudios de composición de alimentos y de fundamental relevancia en los sistemas de base de datos, y la responsabilidad mayor debe ser asumida por el analista. El muestreo debe ser compatible con los objetivos claramente definidos del trabajo analítico, razón por la cual el muestreo y el programa analítico deben ser considerados.

## **4.2. METODOLOGÍA**

### **4.2.1. Procedimientos de muestreo y análisis**

#### ***Técnica de muestreo***

El primer paso para la elaboración de un muestreo consiste en la selección adecuada del diseño o tipo de muestreo que se pretende utilizar. Para ello se debe generar un «marco muestral»: una lista, ordenación, fotografía, esquema o cualquier otro método que permita visualizar en su conjunto a todas y cada una de las unidades que componen la población. Dado que en situaciones prácticas no siempre es posible elaborar en detalle esta lista, una visión de conjunto de la población servirá para realizar un muestreo al azar.

Otro aspecto significativo son las variables a considerar. Se debe elegir, antes de iniciar el estudio, las variables de «interés», aquellas que permiten realizar los análisis necesarios a fin de cumplir los objetivos propuestos (control de calidad, investigación sobre algún aspecto en particular, etcétera).

El segundo paso en una investigación es la selección adecuada de la muestra. Esta selección se realiza con base en dos elementos principales: la variabilidad propia de la población y el margen de error que pueda tolerar el control de calidad deseado.

La muestra debe ser:

- Lo suficientemente amplia para cubrir los requisitos de todas las determinaciones a las que se va a someter.
- Empacada y almacenada, de manera que no se presenten cambios significativos para el muestreo a través del análisis.
- Claramente identificada.

Cuando la cosecha y el muestreo de frutas nativas se realizan en poblaciones silvestres se deben considerar aspectos adicionales a los ya mencionados en relación a la sobreexplotación y la protección de especies en riesgo, incluyendo criterios internacionales, regionales y/o locales.

Es preciso considerar el impacto del cultivo y cosecha en el ambiente, los procesos ecológicos y el bienestar de las comunidades locales.

Asimismo, todos los derechos de propiedad intelectual con respecto a materias primas deben ser respetados.

La suma de estos aspectos determina la pertinencia de desarrollar y actualizar guías técnicas en estas áreas. A su vez, las medidas de seguridad y de garantía de calidad son necesarias para superar estos problemas y asegurar una fuente constante, sostenible y comercializable de frutos nativos/exóticos. En este sentido, para materiales en etapa de cultivo, las buenas prácticas agrícolas se han reconocido como una importante herramienta para asegurar la seguridad y la calidad de una variedad de materiales consumibles como alimentos, como es el caso de las frutas.

### **Guía técnica para el muestreo de frutas nativas**

Previo a iniciar las colectas se debe disponer de información básica, como la distribución geográfica y la densidad de la población de plantas. Es conveniente también considerar la distancia desde el lugar de muestreo hasta el laboratorio de procesamiento de las muestras o donde se conservarán las frutas (ej.: congelado).

Se debe registrar la siguiente información acerca de la especie cuya fruta se colectará:

- Taxonomía, distribución, fenología, diversidad genética, diversidad y biología reproductiva.
- Condiciones de sitio (topografía, geología, clima y vegetación).

#### **4.2.2. Muestreo**

Las prácticas de la colecta deben avalar la supervivencia a largo plazo de las poblaciones silvestres y de sus hábitats. Los planes de gestión deben referirse a la especie y a las frutas, que se recogerán especificando los niveles de la colecta y las prácticas de recolección.

Los frutos han de ser muestreados durante el período de maduración, de modo de asegurar la disponibilidad de

información acerca de sus características (color, sabor, aroma, consistencia, componentes nutricionalmente fundamentales) y garantizar la mejor calidad posible para el consumo de la fruta en fresco y de los productos de su procesamiento.

El mejor momento para la cosecha (mejor momento de la estación y/o del día) se determina a partir del análisis cualitativo y cuantitativo de los componentes de interés (ej.: biológicamente activos).

La fruta muestreada se coloca en recipientes limpios sin restos de materiales extraños o provenientes de otros muestreos.

Luego de muestreada la fruta se almacena en bolsas plásticas sellables y acompañadas de la identificación correspondiente al material y detalles de la colecta.

Las bolsas se congelan lo antes posible, de modo de mantener la situación de colecta de acuerdo a las condiciones determinadas experimentalmente para la fruta que se trate.

#### **4.2.3. Materiales**

Como criterio general se recomienda que el equipo, utensilios y materiales utilizados en el proceso de muestreo no transmitan aroma o sabor, que no absorban compuestos volátiles y que sean descartables o resistentes a una limpieza profunda. El uso de madera o metales corrosibles debe ser evitado.

#### **4.2.4. Identificación, medidas de calidad, documentación**

El trabajo de desarrollo en la búsqueda de nuevas fuentes de frutas en el cual se priorice un suministro que tenga en cuenta la mejor calidad sensorial (aroma, sabor, color) y nutricional, requiere de disponer de material vegetal representativo de la especie, sus poblaciones y las condiciones de sitio. En este caso es fundamental el diseño de muestreo en el marco general del diseño experimental de las diferentes áreas (agronómica, química, tecnológica), tanto en relación al metabolismo primario (carbohidratos, fuentes de nitrógeno) como al secundario

(aroma, sabor, color, micronutrientes). Con esto se busca: satisfacer las premisas del consumidor, especialmente en formas de presentaciones convenientes (tanto para fruta fresca como procesada) a un costo competitivamente accesible, y el desarrollo de elementos diferenciales que colaboren finalmente con el consumo de alimentos saludables.

Para alcanzar estas metas el diseño de los protocolos de investigación y desarrollo debe tomar en cuenta los siguientes objetivos:

1. Sustituir cultivares cuyo perfil de aceptación (sabor, color) sea pobre por otros con atributos más positivos. Ya sea porque existen cultivares con ese perfil, o porque se deba realizar una selección de nuevos cultivares con sabor deseable y calidad de textura.

2. Identificar las prácticas culturales óptimas que permitan maximizar la calidad del aroma y el sabor (por ejemplo, decidir los rendimientos de fruta y el momento óptimo de cosecha y evitar los excesos de nitrógeno y de agua).

3. Estimular a los productores a cosechar las frutas en un estado de madurez que abarque desde el inicio de madurez hasta las etapas de maduración total de acuerdo al destino final de la fruta. A este fin se deben proponer metodologías que permitan proteger las frutas contra daños físicos y biológicos, y métodos físicos para la determinación no destructiva de los índices de maduración y calidad.

4. Identificar las condiciones óptimas de poscosecha (tiempo, temperatura, higrometría, composición atmosférica) que permitan mantener la calidad del aroma, sabor y color de la fruta y de sus productos de valor añadido. Para frutas nativas es fundamental que la vida poscosecha sea definida en base a los aspectos de calidad consignados, ya que son los que determinan y condicionan la preferencia de los consumidores.

5. Desarrollar productos derivados con valor agregado prontos para consumir (*ready-to-eat*) con un buen desarrollo de sabor y aroma y una vida estante (*shelf-life*) adecuada.

6. Optimizar los métodos de procesamiento que favorezcan la calidad de los productos procesados, de modo de rete-

ner y mejorar (liberación de aromas ligados) el perfil de aroma y sabor de la fruta en su punto óptimo de maduración y aceptación.

La mayor parte de la investigación sobre frutas, particularmente sobre las nativas, se ha centrado en la identificación de las características que indiquen el momento de cosecha más temprana y aceptable para su manejo. Estas características (a menudo denominadas estándares de la madurez) deben ser fáciles de medir y generalmente se desarrollan correlacionándolas con la calidad de la fruta cuando está madura. Sin embargo, debido a la variabilidad natural de la fruta y la influencia de las condiciones de crecimiento, las características de la fruta no serán siempre un indicador confiable de la madurez.

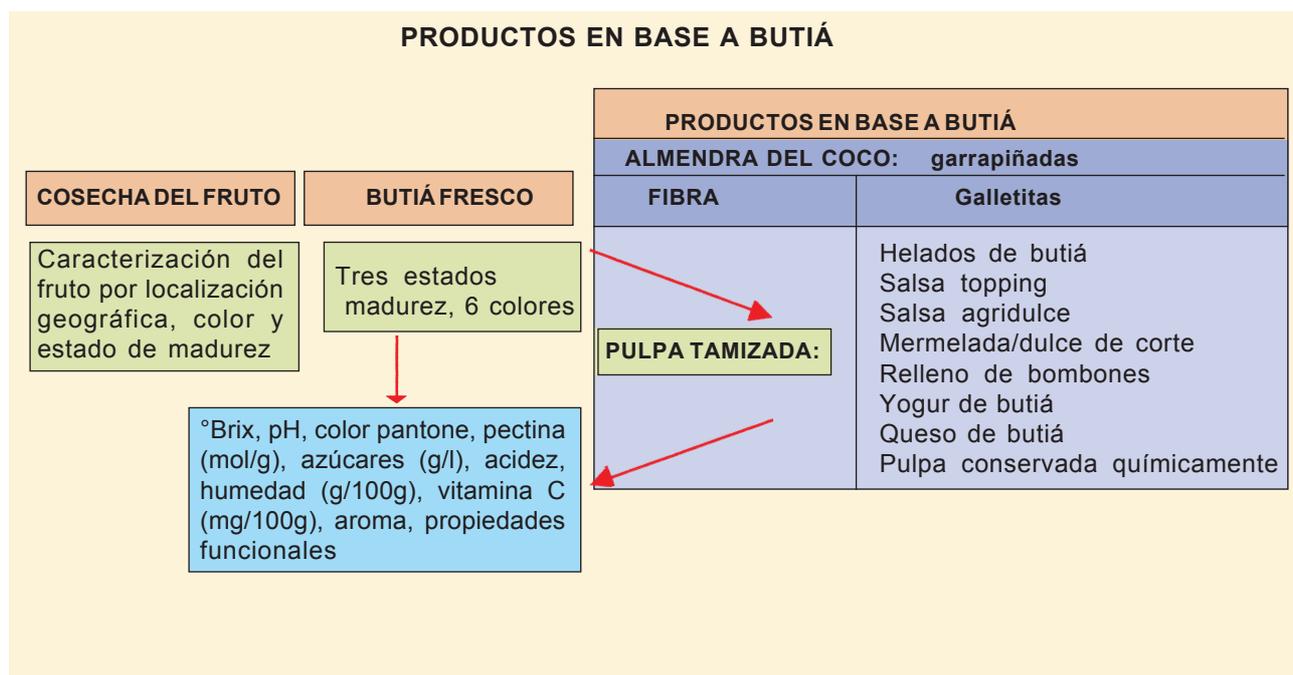
Por lo tanto, el desafío es obtener un equilibrio entre la velocidad y el costo de medir características y su exactitud como indicador de la calidad de la fruta final. Como se ha mencionado, estos se vinculan con factores como aroma, sabor, color y propiedades nutricionales. La medida de estos factores implica metodologías de cierta complejidad que insuermen tiempo e implican un costo relativamente elevado.

Esta particularidad determina la conveniencia de trabajar en la línea de I+D+I sobre un número suficientemente elevado de muestras, de manera de poder aplicar criterios estadísticos cuyos resultados permitan decidir acerca de la aplicación de metodologías más simples pero relacionables con los resultados provenientes de las técnicas complejas.

#### **4.2.5. Aplicación a los frutos de butiá**

Los resultados obtenidos durante los dos primeros años de desarrollo del proyecto han permitido verificar parámetros para el muestreo de fruta de butiá que consideran los principios generales que se han expuesto y que son resumidos en la Figura 2.

De ese modo, y con la participación de todo el grupo multidisciplinario que compone el equipo de investigación que llevó adelante el proyecto, fue posible concretar el siguiente esquema de trabajo.



**Figura 2.** Parámetros para el muestreo de fruta de butiá. Fuente: Crosa, 2010.

### Fruta

El diseño experimental básico para este trabajo partió de las siguientes premisas:

1) La existencia de una diversidad importante en las características de los frutos. Esta situación determina que se deba definir la incidencia de esta variable en el proceso de selección de materia prima (poblaciones diferentes, proceso de maduración desfasado, decisión de cosecha para su transformación o almacenamiento).

2) ¿Es válido un consumo en fresco sin efectos perjudiciales sobre la calidad mecánica, organoléptica y nutricional (senescencia controlable)?

3) ¿Se puede planificar un almacenamiento para fresco? ¿Con traslados y depósito?

**Justificación.** La clasificación según el estado de madurez se realizó considerando el proceso de maduración en el fruto de acuerdo a los criterios establecidos por la Ing. Mercedes Rivas en base a los estudios previos de Barilani (2002), en los que se consideran tres estados de madurez definidos:

- El estado 1: momento en que el cacho se encuentra coloreado.

- El estado 2: momento en que el fruto está a punto de desprenderse de la palma pero todavía se mantiene en ella.
- El estado 3: recolección de los frutos del suelo.

La colecta y selección de los frutos estuvo a cargo de la Ing. Rivas. Las muestras se almacenaron congeladas (-20 °C) (Cuadro 1a).

### Pulpa de butiá

En la pulpa (o pasta) se evaluó el potencial de transferencia aromática hacia la mermelada como producto final, gestionando parámetros de evaporación, temperatura y acidez.

Se logró un enriquecimiento en componentes volátiles (aroma y sabor) deseables (estudios intermedios). Cabe recordar que se trata de un proceso de interacción entre diseño de producto, decisión del consumidor y capacidad de reproducción a escala productiva

Se elaboró pulpa tamizada según se describe en la Figura 8 del capítulo 3. Por cada lote elaborado se controló pH y °Brix en la pulpa.

Una vez elaborada la pulpa tamizada, se tomaron muestras representativas de

Cuadro 1. Muestras analizadas.

<b>(a) Frutos frescos</b>		
<b>Maduración</b>	<b>Color</b>	<b>Identificación LATU/FQ</b>
	Color 1	
Maduración 1 Cacho Coloreado	Color 1	L2/Q2
	Color 2	
	Color 3	
	Color 4	
	Color 5	
	Color 6	L6/Q6
Maduración 2 posterior al 1ro y previo a la caída del fruto	Color 2	L8/Q8
	Color 3	N2
	Color 4	
	Color 5	
	Color 6	
	Color 1	L13/Q13, A3
Maduración 3 caída del fruto	Color 2	L14/Q14
	Color 3	L15/Q15, N3
	Color 4	L16/Q16
	Color 5	L17/Q17, R3
	Color 6	

<b>(b) Pulpas</b>			
		<b>Pulpas tamizadas</b>	
<b>L2</b>	A/2A	<b>L14</b>	A/14A
	B/2B		B/14B
<b>L6</b>	A/6A	<b>L15</b>	A/15A
	B/6B		B/15B
<b>L8</b>	A/8A	<b>L16</b>	A/16A
	B/8B		B/16B
<b>L13</b>	A/13A	<b>L17</b>	A/17A
	B/13B		B/17B

cada lote de elaboración para evaluar los perfiles de aroma y sabor (Figura 4b).

#### **Desarrollo de productos en base a butiá**

Para cada uno de los productos desarrollados por el equipo del LATU se toman muestras representativas, de manera de evaluar los perfiles de aroma y sabor en cada caso.

### **4.3. ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS EN BASE A BUTIÁ**

#### **4.3.1. Análisis del contenido de minerales**

La digestión vía seca (calcinación en crisol de porcelana, mufla overnight a 500 °C y disolución de cenizas en HNO<sub>3</sub>/

agua destilada) de la muestra liofilizada se realizó por triplicado para cada muestra. Se utilizaron los siguientes equipos: Espectrómetro Perkin Elmer Modelo 5000, Espectrómetro Perkin Elmer Analyst 200, Espectrómetro Shimadzu UV-240.

Las técnicas empleadas según el análisis (entre paréntesis la longitud de onda de medida) fueron:

1. Espectrometría de Absorción Atómica de llama aire-acetileno.
  - a. Calcio (422.7 nm)
  - b. Cobre (324.75 nm)
  - c. Hierro (248.3 nm)
  - d. Magnesio (285.2 nm)
  - e. Manganeso (279.48 nm)
  - f. Zinc (213.86 nm)

Se utilizaron lámparas de cátodo hueco como fuente de radiación.

2. Espectrometría de Emisión Atómica.
  - a. Sodio (589.0 nm)
  - b. Potasio (766.5 nm)

La espectrometría molecular para la determinación de fósforo se determinó según A.O.A.C. (2005). Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.

#### **4.3.2. Análisis de componentes aromáticos**

Todos los tipos de frutas poseen ciertos atributos que inciden de forma grata en la mayoría de los sentidos (excepto el oído y el tacto). Por ejemplo: los aromas

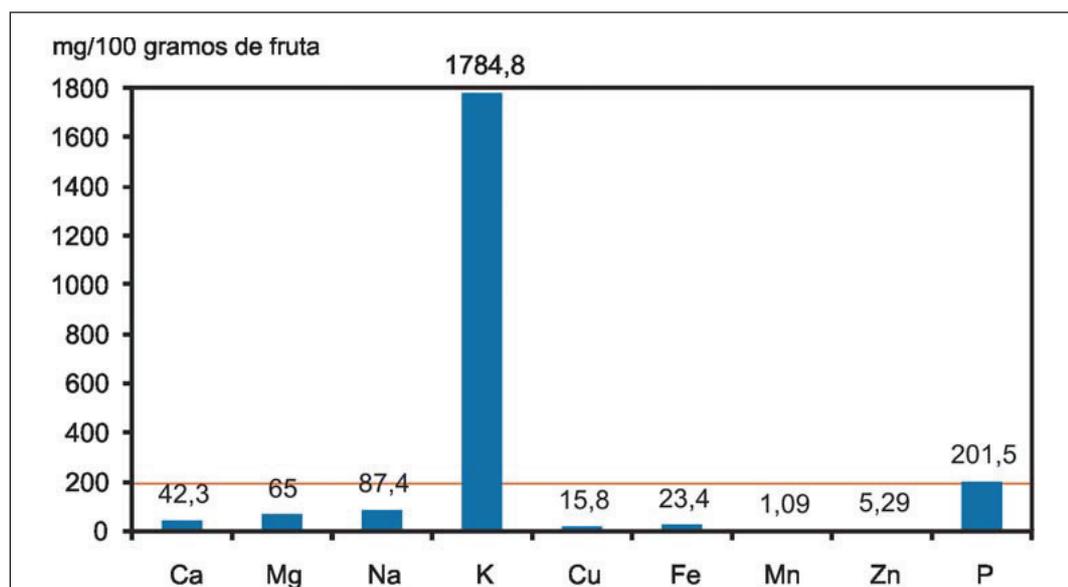


Figura 3. Contenido en minerales.

afectan a los sentidos del olor, los diferentes sabores presentes en la fruta al gusto, los colores a la vista. Todos ellos suelen tener un origen químico que se ha ido identificando poco a poco a lo largo de finales del siglo XX y comienzos del XXI.

Los principales componentes de sabor en la fruta son los azúcares, los ácidos y los polifenoles. Estos tres compuestos proporcionan a la fruta tres de los cinco sabores básicos: dulce, ácido y amargo. De todas formas existe una gran cantidad de sustancias en las frutas que acaban proporcionando un sabor y que se presentan en cantidades ínfimas (medidas a veces en partes por millón, e incluso en partes por billón, o por trillón). Estas sustancias dan a la fruta un sabor característico denominado sabor primario. El sabor primario caracteriza a la especie y variedad de fruta.

### **Precursores de aromas (aromas ligados) en las frutas**

El aroma varietal que caracteriza a una fruta se debe principalmente a sus compuestos volátiles. Estos compuestos se pueden encontrar en la fruta como aromas libres, o como aromas ligados en forma de precursores de aroma. Los precursores de aroma están presentes en la fruta como glicosídicos (unión de uno o más azúcares a una molécula no azucarada).

Los precursores de aroma se encuentran fundamentalmente en las partes

sólidas de la fruta. Durante el proceso de maduración y procesamiento de la fruta pueden pasar a las pasatas, con la posibilidad de que liberen su aroma durante la elaboración.

Esta situación es consecuencia de que los aromas varietales ligados a azúcares específicos no están inmediatamente disponibles en la fruta si no es por acción enzimática, modificaciones en la acidez o gracias a una elevada sobremaduración. Pero una excesiva maduración no es aconsejable, porque puede ser responsable de una excesiva concentración de azúcares, peligrosa y desequilibrante para los objetivos de producción.

Los componentes aromáticos volátiles (que son percibidos directamente) y ligados (glicosidados, aroma potencial) presentes en la fruta se obtienen por extracción con solventes a partir de la fruta triturada y fraccionamiento posterior por extracción en fase sólida (SPE, fase estireno-divinilbenceno). La fracción ligada se deja reaccionar con enzimas  $\beta$ -glucosidasas para transformarla en volátil, se agrega un estándar interno (n-heptanol) y se extraen los compuestos aromáticos liberados. La composición se analiza por cromatografía de gases utilizando estándares e Índices de Retención Lineal, así como por espectrometría de masa con bases de datos propias y comerciales (Martínez *et al.*, 2011).

Paralelamente, se evalúa el impacto sensorial de la fruta y sus derivados me-

dante la herramienta de cromatografía gaseosa-olfatometría (GC-O) (Martínez *et al.*, 2009; Bonini *et al.*, 2011).

### **Manejo de los resultados**

Los resultados de los análisis de aromas de frutos y derivados representan un conjunto complejo de datos (estados de maduración, poblaciones, tablas de composición química que expresan los compuestos involucrados en el aroma y sabor, tablas de evaluación sensorial, tablas de componentes evaluados por su impacto sensorial individual, tabla de minerales, etcétera), cuyo análisis no es obvio en cuanto a su interpretación. En consecuencia, estos datos deben manejarse con herramientas estadísticas multivariantes y paquetes estadísticos adecuados (ej.: Statistica 7.1, Stat-Soft, Tulsa, OK, 1984-2005).

### **Etapas para el desarrollo global del proyecto y su impacto**

**1. Esquema conceptual** como guía para la obtención e interpretación de los resultados:

- Diseño y aplicación de protocolos de extracción.
- Diseño y aplicación de sistemas de análisis químico (GC, GC-MS). Composición química.
- Diseño y aplicación de sistemas de interacción químico-sensorial (GC-O). Asignación de descriptores.
- Resultados en forma de tablas de composición y descriptores para evaluar preferencias.

**2. Marco conceptual** que justifica la aplicación de nuestro trabajo en el diseño y desarrollo de nuevos productos a partir de matrices de composición empíricamente manejadas pero químicamente desconocidas.

**3. Interfase para la transferencia a diseño y desarrollo de productos:**

- El aroma y sabor del fruto (flavor) es consecuencia de la percepción temporal de los componentes volátiles que se desprenden del fruto. En una primera instancia y dependiendo de su maduración, tendrá

un aroma y sabor puntual característico.

- A medida que la fruta madura (espontáneamente o en cámara), se produce la liberación de compuestos que no eran volátiles inicialmente (se encontraban ligados a azúcares, glicósidos) por acción de enzimas de la fruta y cambios de acidez.

## **4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIABLE. LA QUIMIOMETRÍA, UNA DISCIPLINA ÚTIL PARA EL ANÁLISIS QUÍMICO**

En muchos casos la etapa correspondiente al análisis de resultados determina que, frecuentemente, éstos no contienen la información suficiente. A menudo, los datos registrados no son representativos del fenómeno que quiere estudiarse, no contienen suficiente variabilidad, la componente aleatoria es más relevante que la componente correspondiente a la variación sistemática, o existen otras razones por las que las técnicas estadísticas usuales no puedan extraer información útil sobre el conjunto de datos.

Es decir, obtener datos no es sinónimo de poseer información; debemos interpretarlos y colocarlos en el contexto adecuado para convertirlos en información útil. La quimiometría es la disciplina que cumple esta finalidad y es una palabra que resume el concepto que engloba la medida en química. La quimiometría trata, específicamente, de todos aquellos procesos que transforman señales analíticas y datos más o menos complejos en información, y utiliza métodos de origen matemático, estadístico y otros procedentes del campo de la lógica formal para conseguir sus fines.

De hecho, la capacidad de combinar adecuadamente las variables medidas para formar otras nuevas –denominadas variables latentes o factores– que contengan la información original, forma el núcleo de numerosas técnicas quimiométricas. Con ello se consigue extraer y representar información útil de un conjunto de datos multidimensional (multiva-

riante en lenguaje quimiométrico, dado que usualmente las múltiples variables medidas varían simultáneamente) que, sin duda, contiene la información original pero de forma muy poco transparente y accesible.

En nuestro caso, la aplicación de herramientas quimiométricas permite separar los diferentes cultivares de fruta de acuerdo a sus compuestos responsables de los aromas y sabores que le son característicos.

El análisis quimiométrico, que incluye los resultados de la evaluación olfatómica (GC-O) y la determinación de impactos aromáticos (impacto del flavor), si bien representa una opción más compleja de manejar, es determinante en la definición de la calidad de la fruta en su momento de cosecha (para consumo en fresco o su transformación) y, fundamentalmente, para disponer de elementos objetivos en el desarrollo de productos novedosos.

En resumen, los resultados globales del esquema metodológico propuesto permiten disponer de información para decisiones más complejas, como:

- Cuándo cosechar en función de que se consuma en fresco inmediato, en fresco con traslado o de que se almacene.
- Qué perfil de producto deseamos ofrecer al consumidor para lograr un diferencial con aceptación y continuidad.
- Cómo gestionamos el procesamiento de cada producto: control de temperatura, control de acidez, agregado de coadyuvantes de proceso.

## 4.5. RESULTADOS PARTICULARES

### 4.5.1. Cada producto desarrollado y evaluado tiene un perfil que le es característico

Las frutas no se encuentran vivas solo cuando están unidas a la planta de procedencia; tras la recolección, siguen estándolo y desarrollando los procesos

metabólicos y manteniendo los sistemas fisiológicos que operaban mientras se hallaban unidas al vegetal del que proceden (Wills *et al.*, 1998). Luego de la recolección, continúan respirando y transpirando, y como han perdido contacto con la fuente de agua, productos de la fotosíntesis y minerales, dependen exclusivamente de sus reservas alimenticias y de su propio contenido en agua. Por tanto, las pérdidas de sustratos respirables no se compensan y se inicia el deterioro. En otras palabras, las frutas son, una vez recolectadas, productos perecederos (Wills *et al.*, 1998).

### 4.5.2. Importancia de la madurez en la calidad de las frutas

La maduración es una de las etapas fundamentales en la vida de los frutos que se caracteriza por ser un período de diferenciación de tejidos, acompañado de la síntesis y acción de ciertas enzimas responsables de los cambios de los constituyentes químicos y de las propiedades físicas y organolépticas de los frutos. En su fase final, «ripening» o maduración organoléptica, los frutos adquieren las propiedades sensoriales que los definen como comestibles. Puesto que en las frutas el metabolismo continúa activo una vez separadas de la planta, se comprende que su calidad y su valor nutritivo estarán influenciados por las modificaciones que tienen lugar no solo en la planta sino tras la cosecha, durante su transporte, conservación y posterior elaboración (Albi y Gutiérrez, 1991).

Las frutas, una vez alcanzada la madurez, están muy expuestas al deterioro, debido a enfermedades fisiológicas o bien por el ataque de microorganismos. Al estado de madurez óptimo (desde el punto de vista organoléptico) sigue inmediatamente la desorganización y senescencia de los tejidos: ablandamiento excesivo, pardeamiento enzimático, etcétera.

### 4.5.3. Caracterización aromática de los frutos

El sabor atractivo de las frutas tropicales estimula el interés creciente de los consumidores en todo el mundo. A su

vez, la demanda de sus sabores y aromas ha llamado la atención de las industrias de aroma sobre la necesidad de caracterizar los compuestos volátiles de estas frutas. Este marco referencial da un valor adicional a la evaluación de posibles derivados para la industria alimentaria (pulpas tamizadas, mermeladas, bases para helados y postres, salsas, néctares).

En todos los casos las muestras obtenidas se dividieron en dos fracciones, una fracción para utilizarse en análisis inmediatos y la otra fue almacenada en freezer (-30 °C) hasta su utilización.

Como se mencionó anteriormente, los compuestos presentes en las muestras a estudiar fueron extraídos de su matriz y luego separados mediante SPE (extracción en fase sólida), con lo que se obtuvieron dos fracciones por cada muestra (Martínez *et al.*, 2011).

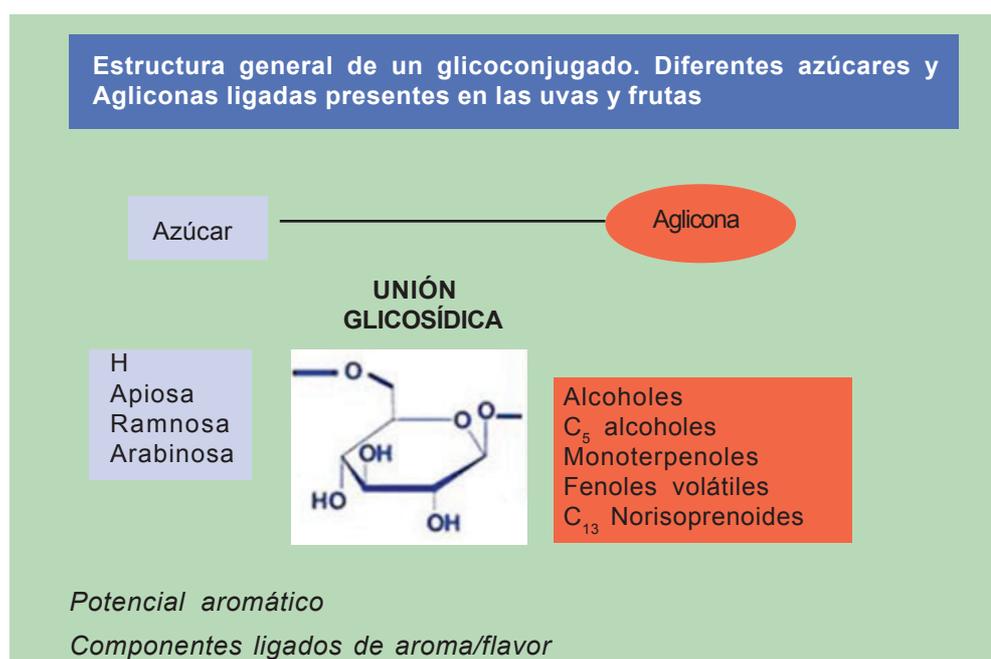
La primera es la denominada «fracción libre» (Figura 4), la cual contiene los compuestos volátiles que representan el aroma y sabor que la fruta posee y que se percibe en el momento de consumirla. Es decir, aquellos componentes que describen el perfil de aroma y sabor de la fruta consumida en fresco. Esta fracción libre se eluyó de la columna de SPE con un solvente de baja polaridad y fue concentrada y analizada en un cromatógrafo

de gases acoplado a un detector de masas (GC-MS).

La segunda fracción es la llamada «fracción ligada», que contiene los compuestos que no se perciben al consumir la fruta fresca porque no son volátiles y, por lo tanto, no son percibidos por los sentidos. Se trata de compuestos unidos químicamente a moléculas de azúcares (glucosa y otros monosacáridos) que forman compuestos glicosidados (ligados químicamente a azúcares) (Figura 4).

Sin embargo, la unión química que genera un glicósido es susceptible de ser hidrolizada tanto en medio ácido como enzimáticamente (glicosidasas). Considerando que la pulpa de la fruta es ácida y que una vez cosechada su senescencia determina que algunas actividades enzimáticas se aceleren (entre ellas las glicosidasas), es posible comprender que los componentes volátiles «liberados» (agliconas) de la unión glicosidada establezcan un nuevo perfil aromático en la fruta. Estas nuevas notas aromáticas son las que definen el aroma de la fruta en su momento óptimo de maduración.

Por otra parte, el hecho de que la pulpa represente un medio ácido explica la razón por la cual al procesarse la fruta en caliente (producción de mermeladas, dulces de corte u otros derivados sometidos a procesos térmicos) ocurran cam-



**Figura 4.** Fracciones que componen el aroma de la fruta.

bios en el perfil aromático de los productos en relación a la fruta de partida.

Esta fracción ligada, la cual se eluyó de la columna de SPE con un solvente polar, fue llevada a sequedad, retomada en buffer pH 5 y se le realizó una hidrólisis enzimática a 40 °C. Luego de la hidrólisis se efectuaron extracciones líquido-líquido para obtener los compuestos libres de los azúcares, se concentró e inyectó en GC-MS.

Para cuantificar se tomó como estándar interno heptanol y para la identificación se utilizaron bases de datos propias y comerciales.

Los resultados de composición obtenidos para cada una de las muestras fueron evaluados mediante un análisis quimiométrico multivariable por el que se obtuvieron diferentes correlaciones químico-sensoriales.

La información obtenida proporciona un aporte significativo a la selección de materias primas y optimización de los procesos utilizados para la elaboración de un producto con un perfil objetivo de calidad para el consumidor (Martínez *et al.*, 2011).

## 4.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran la potencialidad que el butiá tiene desde el punto de vista nutricional. Con frecuencia las concentraciones de minerales en este fruto se encuentran cercanas a los valores de ingesta diaria recomendada de algunos minerales, por lo que es posible considerarlo una fuente rica de éstos que debería ser incorporada a la dieta uruguaya. Algunos de estos minerales –es el caso del zinc– son incorporados principalmente mediante dietas ricas en proteínas, carnes específicamente, por lo que podría utilizarse este tipo de fruto como fuente de estos micronutrientes en poblaciones de bajos recursos económicos. Todo lo expuesto determina que sea necesario dar relevancia al consumo de frutas nativas frescas o procesadas, recurso dietético infrautilizado y potencialmente valioso, en poblaciones con hábitos alimentarios deficientes en vegetales y frutas.

Se pueden observar diferencias en algunos grupos de distribuciones de los perfiles aromáticos de las muestras estudiadas, como se señala en las Figuras 5a y 5b. Esto sucede tanto para las fracciones libres como para las ligadas. En la mayoría de los casos esta distribución de los resultados coincide con el grupo al que pertenece, fruto fresco, pulpas y productos elaborados, así como también al momento de cosecha. Hay algunas excepciones que se marcan en las distribuciones, por ejemplo la diferencia registrada en la mermelada que fue modificada en su elaboración en 2011.

Vale señalar y tener en cuenta la diferencia en los perfiles obtenidos para los diferentes grupos, como se marca en las Figuras 6a y 6b, para que se puedan definir y seleccionar las mejores opciones en base al producto que se quiera obtener y para el consumo del fruto fresco.

El resumen conjunto de actividades realizadas en el marco del proyecto durante los tres años de trabajo se puede sintetizar en los siguientes aspectos:

- 1) En lo que refiere a los objetivos, los resultados son claros en cuanto a que es posible evaluar objetivamente el aroma y sabor de la fruta y relacionarlo con el estado de madurez y forma de conservación. Esto significa que se puede decidir el momento de cosecha de la fruta de acuerdo a su destino (consumo en fresco, procesamiento) y seleccionar, en consecuencia, la modalidad de conservación requerida para cada caso.

- 2) En particular, la información ha sido útil para el diseño de productos derivados de la fruta de modo de lograr calidad diferencial y homogeneidad para los diferentes lotes producidos independientemente de la zafra considerada. Así, se dispone de elementos que posibilitan diseñar un producto y escalarlo en su producción, de forma de hacer el proceso completo repetible en su perfil de calidad y aceptación por parte del consumidor.

- 3) Algunos aspectos adicionales, como la evaluación de minerales (ver Figura 3), permiten afirmar que se dispone de elementos aplicables a la valorización nutricional del consumo de la fruta y sus derivados.

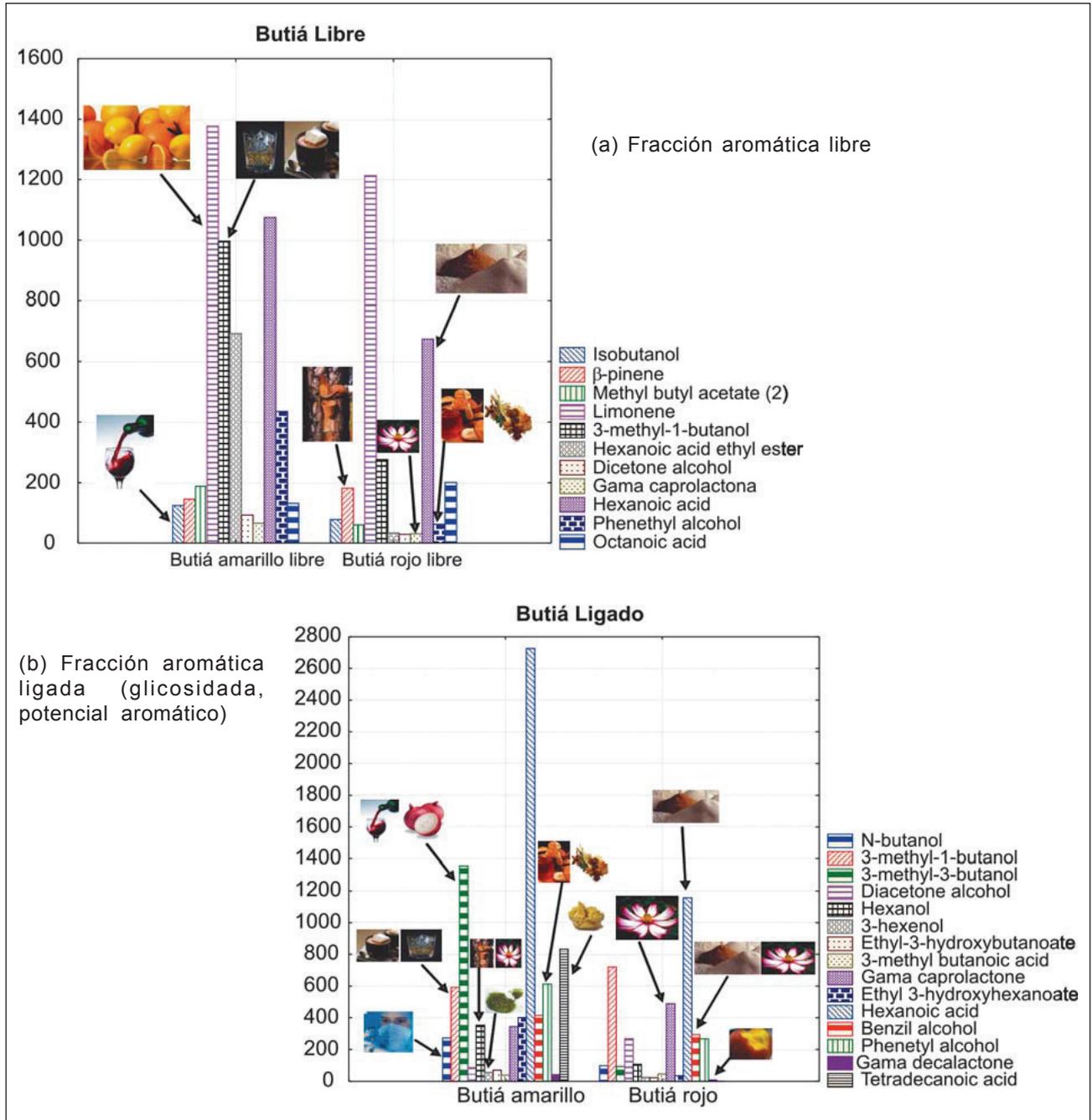


Figura 5. Perfiles aromáticos diferenciales para los frutos del butiá.

4) Por otra parte, el alto grado de labilidad detectado en la composición lipídica de las almendras del fruto hacen suponer que, si bien se trata de una mezcla lipídica con potencial valor para

especialidades cosméticas, se debe procesar y manejar con una metodología que implique un cuidado especial para evitar la rancidez de la mezcla.

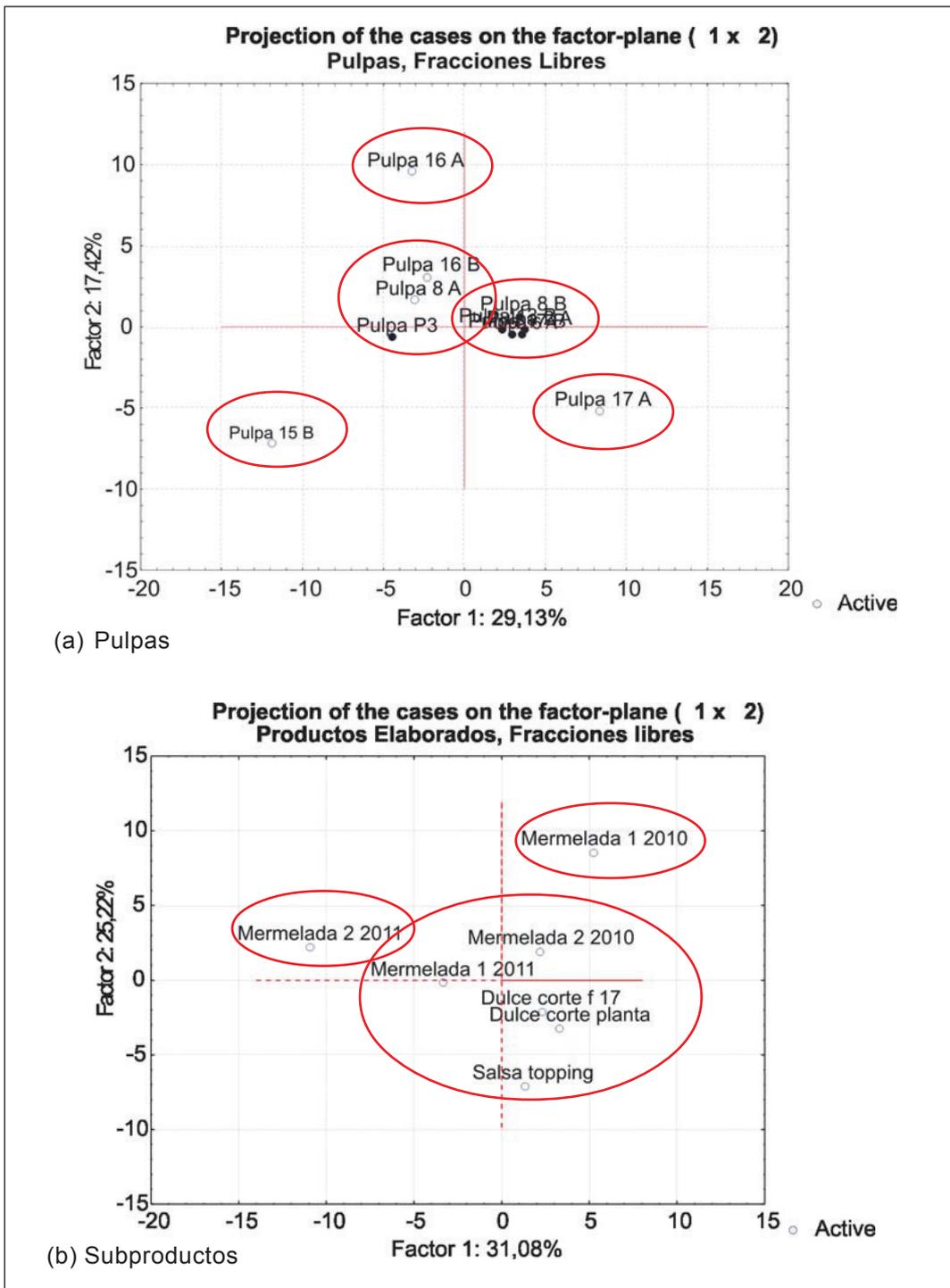


Figura 6. Importancia discriminante de la composición aromática para los frutos de butiá utilizando la fracción aromática libre.