

Azúcares y °Brix en miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y miel comercial del mercado local en México

Teresa Castillo Martínez¹

 0000-0002-0179-0804

Cecilia García Osorio²

 0000-0001-8583-1193

José Guadalupe García Muñiz^{1*}

 0000-0001-8335-2586

Jorge Aguilar Ávila³

 0000-0002-6129-7050

Rodolfo Ramírez Valverde¹

 0000-0002-3185-8494

¹ Universidad Autónoma Chapingo,
Posgrado en Producción Animal,
Chapingo, México

² Colegio de Postgraduados,
Campus Montecillo,
México

³ Universidad Autónoma Chapingo,
Centro de Investigaciones Económicas,
Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria
y la Agricultura Mundial (CIESTAAM),
Chapingo, México

***Autor para correspondencia:**
Correo electrónico:
rvv33@hotmail.com

Resumen

La fructosa y la glucosa son los principales azúcares en la miel de abeja y se espera que su concentración corresponda con las especificaciones de estándares oficiales. El objetivo del estudio fue comparar la composición de azúcares y los °Brix en mieles de abejas *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*, y de un producto comercializado como miel de abeja en un mercado local. El contenido de azúcares se determinó por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) con detector de Índice de Refracción. Los °Brix se determinaron con refractómetro. Ninguna de las mieles analizadas presentó niveles detectables de sacarosa. La concentración promedio de fructosa y glucosa en la miel fue respectivamente 36.4 y 28.9 g 100 g⁻¹ para *Apis mellifera*, y de 38.5 y 28.2 g 100 g⁻¹ para miel de *Melipona beecheii*. Para la miel del mercado local, las concentraciones respectivas de dichos azúcares fueron 7.5 y 17.0 g 100 g⁻¹. La relación fructosa:glucosa (F:G) fue mayor que uno en las mieles de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*, y de 0.4 para la miel del mercado local. Los tres tipos de miel comparados tuvieron valores similares para °Brix. Se concluye que las mieles estudiadas de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii* tienen calidades similares que están dentro de los estándares internacionales. En contraste, el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local no cumple con las especificaciones de las normas oficiales y no puede ser considerada como auténtica.

Palabras clave: calidad de miel; adulteración de miel; abejas africanizadas; abejas meliponas

Recibido: 2020-11-19

Aceptado: 2021-11-10

Publicado: 2022-09-28

Información y declaraciones adicionales
en la página 11

© Derechos de autor 2022
Teresa Castillo Martínez et al.

acceso abierto 



Distribuido bajo una Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0)

Cómo citar este artículo:

Castillo Martínez T, García Osorio C, García Muñiz JG, Aguilar Ávila J, Ramírez Valverde R. Azúcares y °Brix en miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y miel comercial del mercado local en México. Veterinaria México OA. 2022;9. doi: 10.22201/fmvz.24486760e.2022.950.

Contribución del estudio

La apicultura mexicana está seriamente amenazada por la presencia en el mercado de miel adulterada y falsa. A nivel de campo, la determinación de la calidad de la miel únicamente se mide con los °Brix. El contenido de azúcares en la miel de abeja es un parámetro fundamental que determina su autenticidad y el grado de adulteración o falsificación. La miel de abeja debe contener $\geq 60 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de fructosa + glucosa, $\leq 5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de sacarosa y la relación fructosa/glucosa debe ser mayor que 1. Con los resultados del presente estudio, se determinó que sólo la lectura de °Brix en la miel de abeja no es suficiente para determinar su autenticidad. Con los resultados de este estudio se puede contribuir tanto a la sostenibilidad y rentabilidad de la apicultura en México como al cuidado de la salud de los consumidores de miel.

Introducción

La miel de abeja es una sustancia natural dulce producida por las abejas obreras, a partir del néctar de las flores y de otras secreciones extra florales que las abejas liban, transportan, transforman, combinan con otras sustancias, deshidratan, concentran y almacenan en panales.^(1,2) Las características de la miel varían según su origen botánico y geográfico, las condiciones climáticas donde se produjo, y la forma en que ésta se procesa y almacena.⁽³⁾ Los componentes principales de la miel son los carbohidratos y el agua.⁽³⁾ Los azúcares como fructosa, glucosa y sacarosa son los principales carbohidratos presentes en la miel, y juntos constituyen del 95 al 99% de la materia seca.⁽⁴⁾ La miel de abeja también contiene otros carbohidratos disacáridos como maltosa, isomaltosa, y algunos oligosacáridos y tetrasacáridos.⁽⁵⁾ Además, contiene una gran variedad de sustancias menores, dentro de las que destacan enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, antioxidantes, vitaminas y minerales.⁽⁶⁾

Todo producto que no cumpla con lo antes citado no puede denominarse miel, como es el caso de jarabe de azúcar y el jarabe de plantas. Asimismo, la miel no debe contener aditivos, sustancias orgánicas e inorgánicas diferentes a su composición.⁽⁷⁾

El contenido de sólidos solubles totales en la miel de abeja se expresa en rados Brix (°Brix), y éste se relaciona con el contenido de azúcares. El valor de °Brix que se obtiene por medio del refractómetro, representa el porcentaje de azúcares en la miel. Este parámetro está relacionado con el contenido de humedad, debido a que el segundo componente más abundante en la miel es el agua, mismo que se expresa como porcentaje de humedad de la miel.⁽⁸⁾

Con base en los antecedentes descritos, el objetivo de esta investigación fue determinar y comparar la composición de azúcares y °Brix en mieles de abejas *Apis mellifera* y *Melipona beecheii* provenientes de varios estados de la República Mexicana, además de un producto comercializado como miel de abeja en el mercado local.

Materiales y métodos

Colección de muestras de miel

Las muestras de miel de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii* analizadas fueron colectadas en diferentes estados de la República Mexicana, y provenientes

Cuadro 1. Origen y distribución de las muestras de miel analizadas en este estudio

Región ¹	Estado ²	Especie de abeja	n ³	Fuente botánica ⁴
Trópico húmedo	Campeche	<i>Apis mellifera</i>	2	Multiflora
	Quintana Roo	<i>Apis mellifera</i>	1	Multiflora
	Yucatán	<i>Apis mellifera</i>	1	Multiflora
	Yucatán	<i>Melipona beecheii</i>	2	Multiflora
	Chiapas	<i>Apis mellifera</i>	2	Multiflora
Trópico seco	Oaxaca	<i>Apis mellifera</i>	2	Chalahuite (<i>Inga vera</i>) y multiflora
	Guerrero	<i>Apis mellifera</i>	3	cocotero (<i>Cocos nucifera</i>) y multiflora
	Guerrero	<i>Melipona beecheii</i>	1	Multiflora
Zona templada	Puebla	<i>Apis mellifera</i>	3	Mezquite (<i>Prosopis velutina</i>), acahual (<i>Tithonia tubiformis</i>) y palo dulce o palo azul (<i>Eysenhardtia polystachya</i>)
	Estado de México	desconocida	3	Origen desconocido

¹Región= Región climática de la República mexicana, ²Estado: estado de la República mexicana, ³n: número de muestras de miel,

⁴Fuente botánica: origen floral de las muestras de miel.

de diversas fuentes botánicas, dependiendo del sitio donde fueron colectadas (Cuadro 1). Una vez extraída la miel de diferentes colmenas, se tomó una muestra de 250 g de miel de mezcla. En total fueron 20 muestras de miel (14 de *Apis mellifera*, tres de *Melipona beecheii* y tres de un producto comercializado en el mercado local como miel de abeja). Para la obtención de las muestras del mercado local, se adquirieron tres envases que contenían 250 g de miel en tres establecimientos conocidos por ofertar miel.

Análisis de laboratorio

La determinación de los °Brix se realizó con miel descristalizada por medio de refractómetro a 22 °C. Para determinar los azúcares se utilizó cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) con detector de Índice de Refracción. Las muestras se analizaron por triplicado para azúcares y, cuadruplicado, para °Brix.

Los reactivos utilizados fueron acetonitrilo, metanol, agua, y estándares de glucosa, fructosa y sacarosa, todos los reactivos con grado HPLC. Los materiales y equipos utilizados fueron viales de vidrio de 1.8 mL, matraces volumétricos de 10 y 5 mL 'clase A', membranas de nylon para filtración de 47 mm y 0.47 µm, cartuchos de limpieza SPE Chromabond C18 ec 3 mL 500 mg⁻¹, acrodiscos de 0.47 µm, sistema de filtración de vacío, balanza analítica y jeringa de plástico de 5 mL.

El procedimiento consistió en preparar 40 mL de solución A, de metanol:agua (1:9). La fase móvil fue acetonitrilo:agua (80:20). Para la disolución patrón (DP) se pesaron 0.1 g de estándares de glucosa, fructosa y sacarosa, se colocaron todos juntos en un matraz de 10 mL, se disolvieron con la solución A y se llevó a aforo, alcanzando la concentración de 10 mg mL⁻¹. Para conocer el tiempo de retención de cada estándar, se pesaron individualmente 0.1 g de cada uno de ellos. Para la disolución estándar, se transfirieron 5 mL de DP a un matraz de 10 mL y se aforó con fase móvil hasta alcanzar la concentración de 5 mg mL⁻¹.

Se inyectaron los tres estándares anteriores al HPLC para conocer el tiempo de retención de fructosa, glucosa y sacarosa. Una curva de calibración de 0.3 a 5 mg mL⁻¹ fue usada para cuantificar los azúcares en las muestras de miel analizadas.

La preparación de las muestras de miel fue realizada mediante el procedimiento descrito por Karkacier et al.⁽⁹⁾ Se pesó un gramo de cada muestra en una balanza analítica, la muestra se diluyó con agua grado HPLC, se transfirió a un matraz volumétrico de 10 mL, y se aforó con la misma agua. Posteriormente se tomó 1 mL de la disolución, se transfirió a un matraz de 10 mL y se aforó con agua HPLC.

Para la extracción en fase sólida, se empleó la técnica de Macherey-Nagel; que consistió en una limpieza de la muestra por medio de la filtración en cartucho o columna de limpieza colocada en un soporte universal.⁽¹⁰⁾ El vacío se generó con la ayuda de una jeringa de 5 mL acoplada a una extensión de manguera especial. El cartucho de limpieza se acondicionó con 6 mL de metanol y luego 6 mL de agua HPLC a razón de una gota por segundo. Se recuperó el metanol y se colocó en el recipiente de desechos tóxicos. En cada etapa se cuidó que el lecho cromatográfico no se secase. Una vez acondicionado el cartucho de limpieza, se depositó en él 1 mL de la última disolución de las muestras de miel. Se succionó la muestra sin secar el lecho cromatográfico, se recuperó el eluato en un matraz de 5 mL; a la columna se agregaron 3 mL de agua HPLC para recuperar los azúcares y se mezcló con el eluato anterior. En este último paso, el lecho cromatográfico se llevó a sequedad. Posteriormente, el matraz se aforó con agua HPLC. Finalmente, se tomó 1 mL de la disolución resultante de la extracción en fase sólida, se pasó por acrodisco y se puso en el vial del automuestreador para su análisis por HPLC.

Análisis estadístico

Para obtener los estadísticos descriptivos se utilizó el procedimiento MEANS, y para el análisis de varianza y covarianza se utilizó el procedimiento MIXED de SAS.⁽¹¹⁾ Para las variables de concentración de azúcares (fructosa, glucosa, fructosa + glucosa), la relación fructosa:glucosa (F:G) y los °Brix, el modelo estadístico ajustado fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + S_i + EF_j + e_{ijk}$$

Donde: y_{ijk} es el valor registrado para cada una de las variables analizadas (fructosa, glucosa, fructosa + glucosa, relación F:G, y °Brix); μ es la media general; S_i es el efecto de la i -ésima especie de abeja ($i = Apis mellifera$, *Melipona beecheii* y *desconocida*); EF_j es el efecto aleatorio de la j -ésima subclase, formada por la combinación de estado de la República Mexicana donde se colectaron las muestras de miel y el tipo de floración de procedencia de las mieles analizadas \sim NIID $(0, \sigma_{EF}^2)$; e_{ijk} es el error aleatorio \sim NIID $(0, \sigma_e^2)$. Las medias de cuadrados mínimos para especie de abeja se compararon con la prueba de Tukey.

La asociación entre °Brix y las concentraciones de fructosa, glucosa, fructosa + glucosa, y la relación F:G se analizó sólo para *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*, por contar con suficientes datos. Para cada una de las variables de contenido de azúcares en miel, la relación con la lectura de °Brix se analizó ajustando un modelo lineal mixto en el que se omitió el ajuste de la media general, utilizando la opción 'noint'. Asimismo, la solución a los efectos fijos del modelo se obtuvo especificando la opción 'solution' en el enunciado del modelo del procedimiento MIXED de SAS.⁽¹¹⁾ Las soluciones a los efectos fijos correspondieron a los coeficientes de

la regresión de °Brix sobre la concentración de cada uno de los azúcares en miel modelados. El modelo estadístico ajustado fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \beta_{0i}S_i + \beta_{1i}S_iX_{ijk} + \beta_{2i}S_iX_{ijk}^2 + EF_j + e_{ijk}$$

Donde: y_{ijk} es el k -ésimo registro de °Brix, de la j -ésima subclase estado de la República Mexicana por tipo de floración de procedencia de las mieles, y la i -ésima especie de abeja; β_{0i} , β_{1i} y β_{2i} son, respectivamente, los coeficientes de regresión para el intercepto, la pendiente lineal y cuadrática de la regresión de °Brix sobre cada una de las variables de concentración de azúcares en miel, para la i -ésima especie de abeja; EF_j es el efecto aleatorio de la j -ésima subclase, formada por la combinación de estado de la República Mexicana donde se colectaron las muestras de miel y el tipo de floración de procedencia de las mieles analizadas \sim NIID $(0, \sigma_{EF}^2)$; es el error aleatorio \sim NIID $(0, \sigma_e)$.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran las concentraciones promedio de azúcares y lecturas de °Brix para las mieles analizadas. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-F-036- NORMEX-2006,⁽²⁾ tanto la miel de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*, cumplen con las especificaciones de 63.88 g 100 g⁻¹ como mínimo para los valores de fructosa + glucosa, y una concentración máxima de glucosa de 38 g 100 g⁻¹ de miel. Sin embargo, la concentración de azúcares encontrados en el producto comercializado en el mercado local como miel de abeja es inferior a lo especificado por la norma mexicana. En cuanto a sacarosa, en ninguna de las muestras analizadas se encontraron niveles detectables. De acuerdo con el *Codex Alimentarius*,⁽¹⁾ las mieles analizadas procedentes de las dos especies de abejas cumplen con las especificaciones en cuanto a la concentración de azúcares (fructosa + glucosa) mayor que 60 g 100 g⁻¹ de miel, y sacarosa menor que 5 g 100 g⁻¹ de miel.

Las normas NMX-F-036- NORMEX-2006 y el *Codex Alimentarius* son específicas para la miel de *Apis mellifera*. No existe ninguna norma para miel de *Melipona beecheii*. Aunque el contenido de fructosa y glucosa en miel de *Melipona beecheii* encontrados en este estudio están dentro de las especificaciones de dichas normas, podría haber otro u otros componentes que no correspondan, por tal motivo, resulta necesario establecer una norma que regule la calidad de la miel de *Melipona beecheii*.

El contenido de fructosa en miel de *Apis mellifera* y de *Melipona beecheii* no fue diferente ($P < 0.05$); sin embargo, el contenido de fructosa de estas mieles fue superior al 79 y 80% a lo encontrado en el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local. El contenido de glucosa fue diferente ($P < 0.05$) para los tres tipos de miel analizados. La miel de *Melipona beecheii* tuvo 9% mayor contenido de glucosa que la de *Apis mellifera*, y esta última tuvo 42% mayor concentración de glucosa que el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local (Figura 1).

El contenido de azúcares en la miel de *Apis mellifera* fue ligeramente inferior a lo reportado por Olaitan et al.⁽⁴⁾ (38.2% de fructosa y 31.3% de glucosa), el cual fue inferior a lo reportado por Belay et al.⁽¹²⁾ (39.2 y 32.9% para fructosa y glucosa,

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para composición de azúcares y °Brix en miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y producto comercializado como miel de abeja en el mercado local de México

Especie de abeja/variable	n ¹	Mínimo	Máximo	Media	DS ²	CV ³ (%)
<i>Apis mellifera</i>						
Fructosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	42	31.9	41.6	36.4	2.49	6.56
Glucosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	42	21.4	38.7	28.9	4.36	15.08
Fructosa + glucosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	42	53.4	77.5	65.2	6.05	9.28
Relación fructosa/glucosa	42	1.0	1.6	1.3	0.17	12.91
°Brix	56	76.7	81.5	79.3	1.30	1.64
<i>Melipona beecheii</i>						
Fructosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	9	36.6	40.0	38.5	1.20	3.11
Glucosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	9	25.1	32.1	28.2	2.69	9.51
Fructosa + glucosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	9	62.4	71.7	67.7	3.72	5.50
Relación fructosa/glucosa	9	1.24	1.5	1.4	0.10	6.93
°Brix	12	72.5	80.4	76.0	3.03	3.99
Especie de abeja desconocida⁴						
Fructosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	3	7.0	7.9	7.5	0.46	6.21
Glucosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	3	16.9	17.1	17.0	0.13	0.76
Fructosa + glucosa (g 100 g ⁻¹ de miel)	3	24.1	25.0	24.5	0.43	1.76
Relación fructosa/glucosa	3	0.4	0.5	0.4	0.03	6.52
°Brix	4	81.1	81.4	81.3	0.13	0.16

¹n= número de observaciones, ²DS: desviación estándar, ³CV: coeficiente de variación, ⁴Especie de abeja desconocida: producto comercializado como miel de abeja en el mercado local.

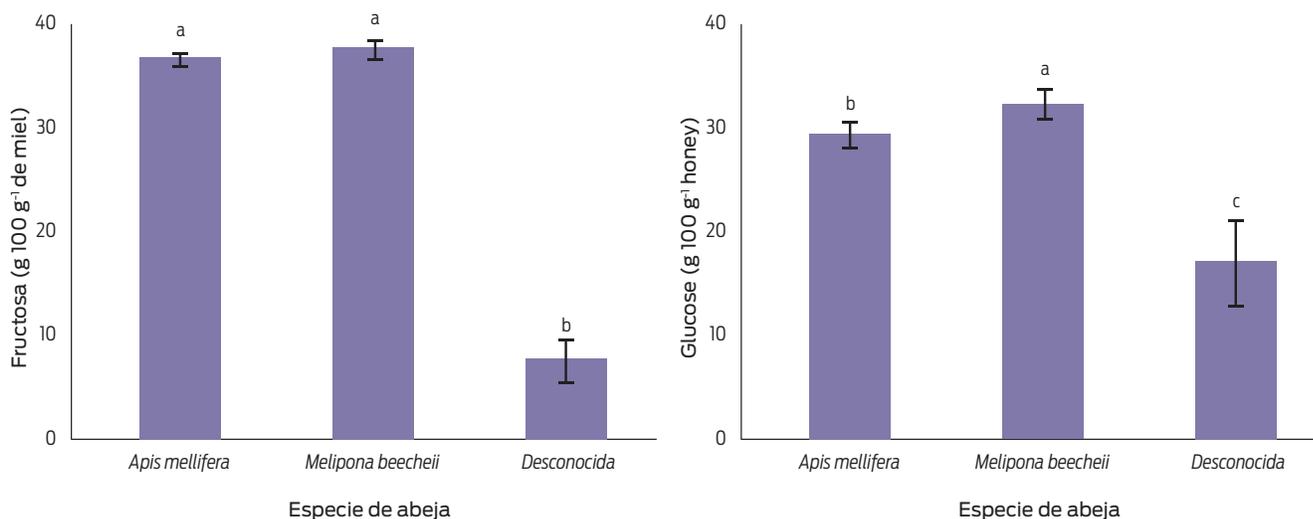


Figura 1. Concentración de fructosa y glucosa en miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y producto comercializado como miel de abeja en el mercado local. Literales diferentes entre barras indican diferencias estadísticas significativas (P < 0.05).

respectivamente). Asimismo, el contenido de glucosa fue inferior al reportado por Tigistu et al.⁽¹³⁾ (32.61%). El Sohaimy et al.⁽¹⁴⁾ reportaron un amplio rango en los contenidos de fructosa (4.8 a 50.78%) y glucosa (10.63 a 26.54%) en mieles de *Apis mellifera* provenientes de diferentes lugares geográficos.

Por otro lado, según de Almeida-Muradian et al.⁽⁵⁾ las concentraciones de fructosa y glucosa mayores en la miel de *Apis mellifera* (38.78 y 23.50, respectivamente) que en la de *Melipona beecheii* (29.21 y 21.76), lo que fue diferente a lo encontrado en este estudio. En Brasil, para de Almeida-Muradian et al.⁽¹⁵⁾ encontraron concentraciones de fructosa y glucosa en la miel de *Melipona beecheii* fueron de 31.61 y 29.33%, porcentaje inferior al resultado de este estudio. De forma similar, para Fonte et al.⁽¹⁶⁾ las concentraciones de fructosa y glucosa fueron de 34.11 y 29.30, en la miel de abeja *Melipona beecheii*.

La concentración de fructosa + glucosa fue diferente ($P < 0.05$) en las mieles analizadas, siendo la miel de *Melipona beecheii* la que tuvo mayor concentración. La menor concentración de fructosa + glucosa la presentó el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local. Sin embargo, la miel de *Apis mellifera* presentó la relación F:G más alta de las tres mieles comparadas (Figura 2). La suma fructosa + glucosa en la miel de *Melipona beecheii* de este estudio coincide con lo informado por Moo-Huchin et al.⁽¹⁷⁾ (67.7 g 100 g⁻¹ de miel).

En un estudio realizado con miel de *Apis mellifera* de diferentes orígenes geográficos, El Sohaimy et al.⁽¹⁴⁾ encontraron un rango de 64.21 a 72.36 g 100 g⁻¹ de miel para la suma fructosa + glucosa. Este resultado concuerda con lo encontrado en el presente estudio. En contraste, Tigistu et al.⁽¹³⁾ reportaron un contenido de fructosa + glucosa de 66.83 g 100 g⁻¹ de miel, el cual fue ligeramente superior a lo encontrado en el presente estudio para la miel de *Apis mellifera*.

De acuerdo con los estándares internacionales para mieles de *Apis mellifera* para la exportación a la Unión Europea, el valor de la relación F:G debe ser mayor que 1.⁽¹⁸⁾ En Brasil, de Almeida-Muradian et al.⁽¹⁵⁾ reportaron un valor de 1.12 para la relación F:G en mieles de *Melipona beecheii*: este valor fue inferior a lo encontrado en este estudio para ambas especies de abejas. Para la miel de *Apis mellifera*, Tigistu et al.⁽¹³⁾ encontraron una relación F:G de 1.05. Para mieles con diferentes orígenes botánicos, Belay et al.⁽¹²⁾ reportaron un valor promedio para la relación F:G de 1.19. Ambos valores fueron inferiores a los encontrados en el presente estudio. Para la miel de *Apis mellifera*, El Sohaimy et al.⁽¹⁴⁾ obtuvieron valores de la relación F:G que oscilan entre 0.42 y 2.35. Los valores en el extremo inferior fueron similares a los encontrados en el presente estudio para el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local.

De acuerdo con los estándares para miel de *Apis mellifera*, respecto al contenido de los azúcares analizados en este estudio, así como la relación F:G, el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local no cumple con los estándares internacionales para ser considerada miel auténtica. Se requieren estudios más detallados para determinar la composición y el origen de este producto. En la Figura 2 se observa que la concentración fructosa + glucosa y la relación F:G son 59 y 56% más bajas que los valores mínimos especificados en las normas.

Respecto a los °Brix (Figura 3), la miel de *Apis mellifera* no fue diferente ($P < 0.05$) al producto comercializado como miel de abeja en el mercado local. La miel de *Melipona beecheii* fue la que presentó la menor lectura de °Brix.

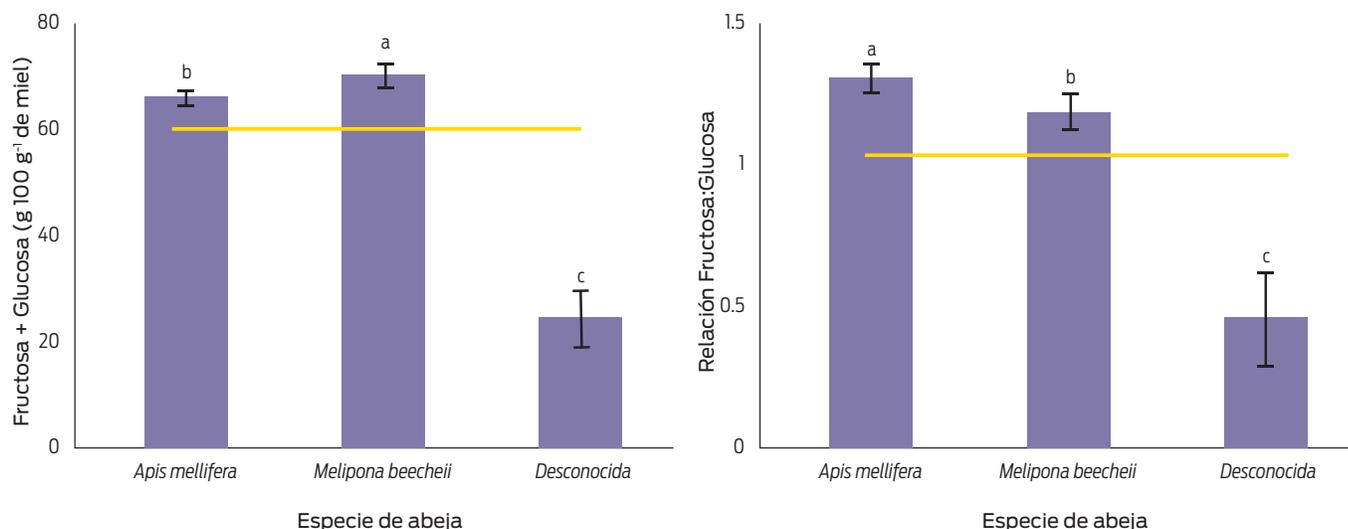


Figura 2. Concentración de fructosa + glucosa y relación fructosa:glucosa en miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local. La línea horizontal indica el valor mínimo de F + G para miel de *Apis mellifera* especificado por el *Codex Alimentarius*,⁽¹⁾ y para la relación F:G para la de *Apis mellifera* de exportación a la Unión Europea.⁽¹⁸⁾ Literales diferentes entre barras, indican diferencias estadísticas significativas (P < 0.05).

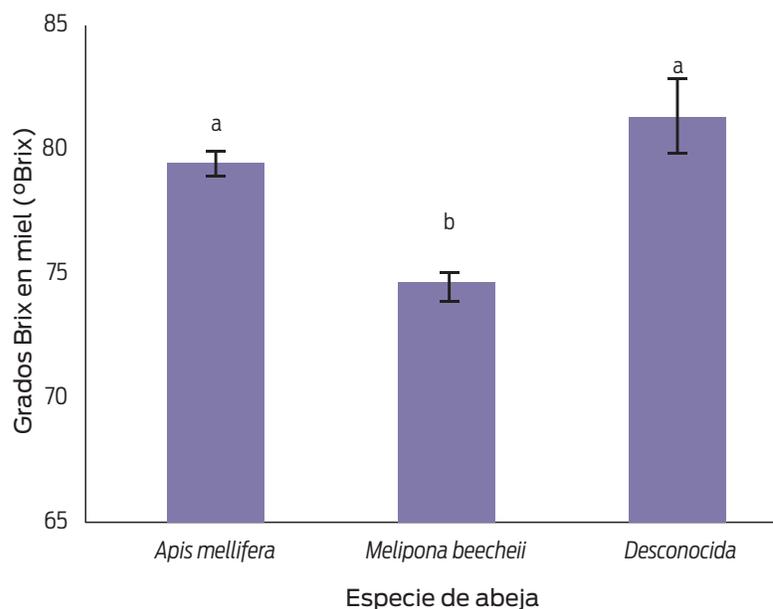


Figura 3. °Brix en la miel de *Apis mellifera*, *Melipona beecheii* y el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local. Literales diferentes entre barras indican diferencias estadísticas significativas (P < 0.05).

El contenido de sólidos solubles (°Brix) en las mieles analizadas fue similar al reportado por López et al.⁽¹⁹⁾ en mieles de *Apis mellifera* (78.7 a 84.3 °Brix) y concuerda con el rango de 78.5 a 81.37 °Brix hallado por Tapia-Campos et al.⁽²⁰⁾ Damasceno do Vale et al.⁽²¹⁾ encontraron valores de 67.5 °Brix en miel de *Melipona beecheii*, mismo que fue inferior al resultado de este estudio, mientras que, para Moo-Huchin et al.⁽¹⁷⁾ reportaron un valor promedio de 75.1 °Brix, similar al que aquí se obtuvo.

El bajo valor de °Brix en la miel de *Melipona beecheii* posiblemente se debió a su mayor contenido de humedad que en la miel de *Apis mellifera*. Damasceno do Vale et al.⁽²¹⁾ reportaron porcentajes de humedad promedio de 38.5% en miel de abejas *Melipona beecheii*, con un rango de 27.7 a 45.8%. Por el contrario, en una revisión de la literatura, Machado de-Melo et al.⁽³⁾, encontraron un 13 a 25 % para el contenido de humedad en la miel de *Apis mellifera*. Para la de *Melipona beecheii*, en otros estudios, Fonte et al.⁽¹⁶⁾ reportaron valores de humedad de 24%, Moo-Huchin et al.⁽¹⁷⁾ de 23.2%. Ambos estudios concluyen que, excepto por el contenido de humedad, para la miel de *Melipona beecheii*, se pueden aplicar los mismos estándares de composición que para la miel de *Apis mellifera*.

Con base en los resultados obtenidos en las mieles analizadas, como no se encontraron diferencias en °Brix entre la miel de *Apis mellifera* y el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local, no es conveniente utilizar este parámetro para determinar la autenticidad de la miel del mercado local.

En la Figura 4 se muestra el efecto de la concentración de fructosa y glucosa en el contenido de sólidos solubles (°Brix), para las mieles de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*. Para la miel de *Apis mellifera*, a medida que incrementa la fructosa, el valor de los °Brix disminuye linealmente; sin embargo, el valor de °Brix despliega una tendencia cuadrática a medida que incrementa la glucosa. Para el caso *Melipona beecheii*, a medida que incrementaron ambos azúcares en la miel, el valor Brix disminuyó.

En la Figura 5 se muestra el efecto de la concentración fructosa + glucosa y la relación F:G en el contenido de sólidos solubles (°Brix), para las mieles de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*. En ambas especies de abejas, los °Brix en la miel disminuyeron a medida que aumentaba la concentración fructosa + glucosa, al contrario a lo que ocurre conforme se incrementa la proporción F:G.

Conclusiones

La concentración de fructosa, glucosa, y la suma de ambas en la miel de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii* cumplen con las especificaciones de las normas NMX-F-036-NORMEX-2006 y el *Codex Alimentarius*, mientras que el producto comercializado como miel de abeja en el mercado local no cumple con estos estándares. En cuanto a la relación fructosa:glucosa, la miel de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii* cumplen con los estándares establecidos para miel de exportación a la Unión Europea. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la miel de *Apis mellifera* y de *Melipona beecheii* se pueden considerar como auténticas. En cambio, el producto comercializado como miel en el mercado local no cumple con los estándares de concentración de azúcares y la relación fructosa:glucosa, y no se puede garantizar su autenticidad.

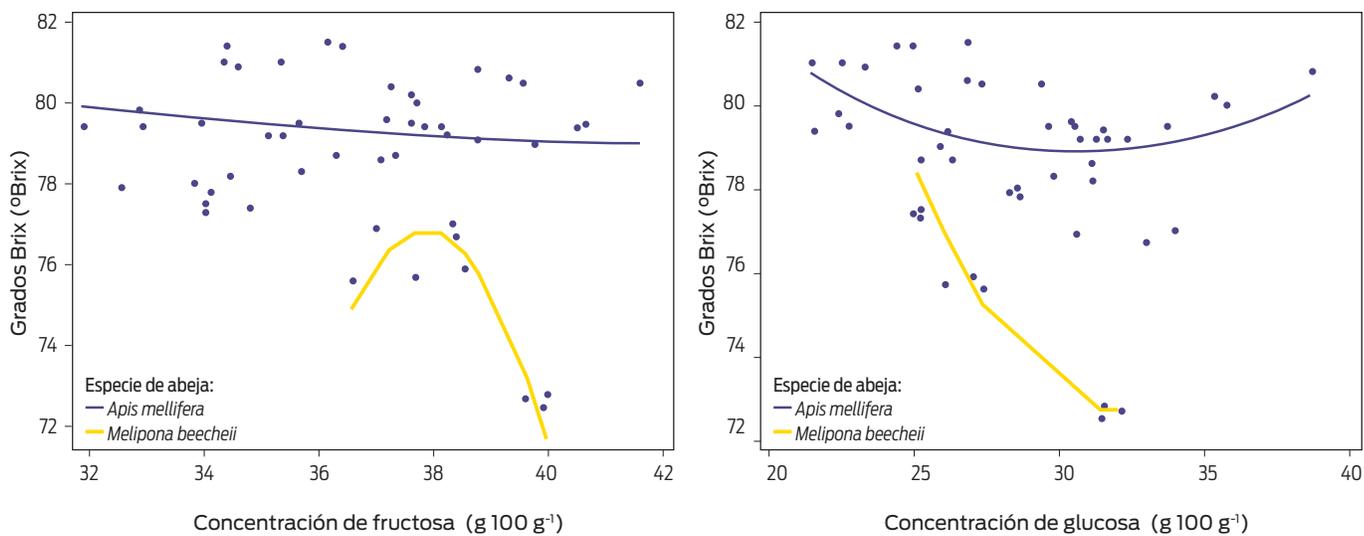


Figura 4. Soluciones a las líneas de regresión ajustadas de °Brix sobre la concentración de fructosa (panel izquierdo) y glucosa (panel derecho) en mieles de abejas *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*..

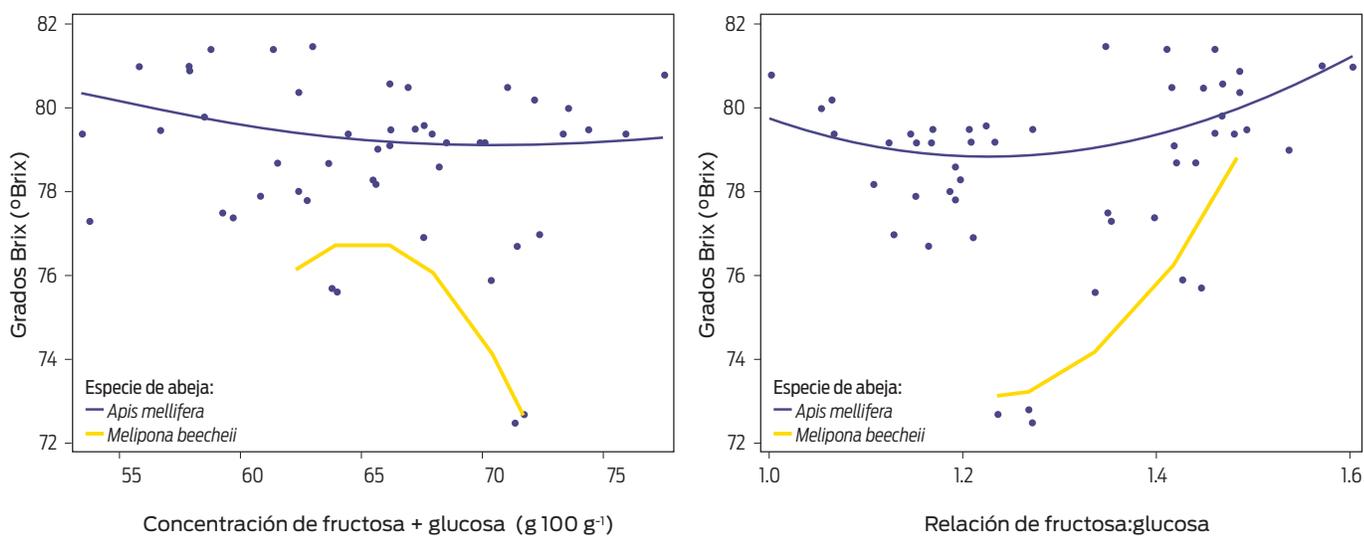


Figura 5. Soluciones a las líneas de regresión ajustadas de °Brix sobre la concentración de fructosa + glucosa y a la relación fructosa:glucosa en mieles de abejas *Apis mellifera* y *Melipona beecheii*.

Disponibilidad de datos

Todos los datos relevantes se encuentran en el manuscrito.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada al primer autor durante sus estudios de doctorado.

Conflicto de interés

Los autores no tienen ningún conflicto de interés que declarar con respecto a esta publicación.

Contribuciones de los autores

T Castillo: Conceptualización, generación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, validación, redacción-borrador original y redacción-revisión y edición.

C García: Conceptualización, metodología y recursos.

JG García: Conceptualización, análisis formal, metodología y redacción-revisión y edición.

J Aguilar: Conceptualización y redacción-revisión y edición.

R Ramírez: Conceptualización y redacción-revisión y edición.

Referencias

1. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y OMS (Organización Mundial de la Salud). Codex Alimentarius. Norma para la miel CODEX STAN 12-1981. Normas Internacionales de los Alimentos. 2019.
2. Dirección General de Normas. Norma Mexicana. NMX-F-036-NORMEX-2006. Miel de abeja. Especificaciones. Norma Mexicana de la miel.
3. Machado de-Melo AA, de Almeida-Muradian LB, Sancho MT, Pascual-Maté A. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. Journal of Apicultural Research. 2017;57:5-37. doi: 10.1080/00218839.2017.1338444.
4. Olaitan PB, Adeleke OE, Ola IO. Honey: A reservoir for microorganisms and an inhibitory agent for microbes. African Health Sciences. 2007;7(3):159-165. doi: 10.5555/afhs.2007.7.3.159.
5. de Almeida-Muradian LB, Stramm KM, Horita A, Barth OM, da Silva de Freitas A, Estevinho LM. Comparative study of the physicochemical and palynological characteristics of honey from *Melipona subnitida* and *Apis mellifera*. International Journal of Food Science Technology. 2013;48(8):1698-1706. doi: 10.1111/ijfs.12140.
6. Ulloa JA, Mondragón Cortez PM, Rodríguez Rodríguez R, Reséndiz Vázquez JA, Rosas Ulloa P. La miel de abeja y su importancia. Revista Fuente. 2010;2(4):11-18.
7. Méndez PK, López VE, Portilla MM. Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas de miel natural y miel sometida a proceso comercial. Revista @limentech Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. 2011;9(1):14-21. doi: 10.24054/16927125.V1.N1.2011.479.
8. Fattori SB. La miel: propiedades, composición y análisis físico-químico [Honey: Properties, composition and physicochemical analysis]. Buenos Aires, Argentina: Apimondia 2004.

9. Karkacier M, Erbas M, Uslu MK, Aksu M. Comparison of different extraction y detection methods for sugars using amino-bonded phase HPLC. *Journal of Chromatographic Science*. 2003;41:331–333. doi:10.1093/chromsci/41.6.331.
10. Macherey-Nagel. Solid phase extraction. Application guide. Duren, Alemania. 2022. <https://www.mn-net.com/media/pdf/33/b3/95/Brochure-Modernpolymeric-SPE-phases-EN.pdf>
11. SAS. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2016.
12. Belay A, Desse HG, Birringer M, Borck H, Chul LY, Won CC, Tack KK, Bayissa B, Baye K, Melaku S. Sugar profile and physicochemical properties of Ethiopian monofloral honey. *Journal of Food Properties*. 2017;20(11):2855–2866. doi:10.1080/10942912.2016.1255898.
13. Tigistu T, Worku Z, Mohammed A. Evaluation of the physicochemical properties of honey produced in Doyogena and Kachabira Districts of Kembata Tambaro zone, Southern Ethiopia. *Heliyon*. 2021;7(4):e06803. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06803.
14. El Sohaimy SA, Masry SHD, Shehata MG. Physicochemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Sciences*. 2015;60(2):279–287. doi:10.1016/j.aos.2015.10.015.
15. De Almeida-Muradian LB, Matsuda AH, Bastos DHM. Physicochemical parameters of Amazon Melipona honey. *Química Nova*. 2007;30(3):707–708. doi:10.1590/S0100-40422007000300033.
16. Fonte L, Díaz M, Machado R, Blanco D, Demedio J, García A. Caracterización físico-química y organoléptica de miel de *Melipona beecheii* obtenida en sistemas agroforestales. *Pastos y Forrajes*. 2013;36(3):345-349.
17. Moo-Huchin VM, González-Aguilar GA, Lira-Maas JD, Pérez-Pacheco E, Estrada-León R, Moo-Huchin MI, Sauri-Duch E. Physicochemical Properties of *Melipona beecheii* Honey of the Yucatan Peninsula. *Journal of Food Research*. 2015;4(5):25–32. doi:10.5539/jfr.v4n5p24.
18. Oddo LP, Piro R. Main European unifloral honeys: descriptive sheets. *Apidologie*. 2004;35:S38-S81. doi:10.1051/apido:2004049.
19. López CA, Juan BM, Escriche RI. Caracterización físicoquímica de mieles de espliego y tomillo de la comunidad valenciana. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD), Departamento de Tecnología de Alimentos(DTAL), Universidad Politécnica de Valencia, España. 2015.
20. Tapia-Campos E, Castañeda-Saucedo MC, del Pilar Ramírez-Anaya J, Macías-Macías JO, Barajas-Pérez JS, Tapia-González JM, Alaniz-Gutierrez L. Physical-chemical characterization, phenolic content and consumer preferences of *Apis Mellifera* honey in southern Jalisco, Mexico. *Interciencia*. 2017;42(9):603–609. doi:10.13140/RG.2.2.36417.25440.
21. Damasceno do Vale MA, Gomes FA, Cunha dos Santos BR, Batista Ferreira J. Honey quality of *Melipona* sp. bees in Acre, Brazil. *Acta Agronómica*. 2018;67(2):201-207. doi:10.15446/acag.v67n2.60836.