

RESUMEN

Mozambique, ubicado en la costa este de África, es un país en vías de desarrollo con un gran potencial en términos de disponibilidad de recursos agroecológicos. En este país, la apicultura no juega un importante papel social, económico o ambiental, pero tiene potencial para aumentar la sostenibilidad de las comunidades rurales pobres. Las regiones norte y central de Mozambique gozan de un clima favorable y cuentan con suficientes recursos naturales, en particular con amplias áreas forestales ricas en flora melífera, excelentes para la apicultura. En Mozambique, la apicultura podría ser una actividad atractiva generadora de ingresos que podría ser explotada por los pequeños agricultores, incluso por las mujeres de las poblaciones rurales. No hay duda de que la apicultura puede ayudar a generar un cambio social y desempeñar un papel importante en la sociedad creando medios de vida sostenibles.

En los últimos años, el mercado mundial viene exigiendo productos agroalimentarios diferenciados con características específicas basadas en los siguientes criterios: origen botánico o geográfico, calidad y seguridad, propiedades específicas organolépticas o nutricionales, entre otros. Por esta razón, es interesante ampliar el conocimiento de los productos apícolas de Mozambique, especialmente en relación con los indicadores de calidad. Esta información podría atraer la atención de las autoridades encargadas de la regulación nacional de este producto. Esto facilitará el control de calidad y promoverá su comercialización en los mercados locales e internacionales lo que apoyará y desarrollará aún más la apicultura en el país.

Por lo tanto, el objetivo de esta tesis doctoral es caracterizar la miel y la cera de abejas de cuatro provincias de Mozambique: Nampula (ubicada en el norte) y Manica, Sofala y Zambezia (en el Centro), y establecer sus características diferenciadoras, junto con el conocimiento de Estos productos de abeja como base para una mejor explotación y comercialización.

En general, todos los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de miel cumplían con las regulaciones internacionales. En la mayoría de los casos, se trataba de miel de mielada, ya que eran oscuras y con valores de conductividad superiores a 0,800 mS/cm. La flora que rodea las colmenas y las prácticas apícolas influyen en la variabilidad de sus parámetros de calidad fisicoquímica, color, azúcares, antioxidantes totales, análisis de polen y perfil volátil. Según la similaridad del espectro de polen, se encontraron ocho tipos de miel, con los siguientes pólenes predominantes: I-*Astragalus* type; II-*Acanthus* sp; III-Celastraceae; IV-Brassicaceae; V-Anacardiaceae y *Astragalus* type; VI-

Astragalus type y Myrtaceae; VII-Asteraceae family y VIII-desconocida. El Grupo I (de Nampula), se diferenci6 particularmente de los dem6s principalmente debido a la abundancia de ciertos compuestos espec6ficos (alcoholes, aldeh6dos, 6steres, 6cidos y terpenos). Los altos niveles de ciertos par6metros de calidad, como el HMF y la humedad, as6 como la presencia de ciertos compuestos de furano caracter6sticos del humo (en gran parte identificados en Sofala y Manica), destacan la importancia de las pr6cticas ap6colas en la mejora de la calidad de la miel de Mozambiquean.

En las muestras se encontraron siete 6cidos fen6licos (*chlorogenic, caffeic, ellagic, ferulic, gallic, p-coumaric* y *synapic*) y ocho flavonoides (*catechin, chrysin, kaempferol, luteolin, naringenin, pinocembrin, quercetin* y *rutin*). La miel de Nampula mostr6 un contenido mayor para la mayor6a de los 6cidos fen6licos y flavonoides en comparaci6n con el de las otras provincias, destacando el *chlorogenic acid* (5.22 mg/100 g), que fue significativamente m6s alto en estas provincias en comparaci6n a las otras (1.24, 1.11 y 0.81 mg/100 g en Sofala, Manica y Zambezia). A diferencia de otras mieles africanas, *luteolin* (con valores promedio de 12.48; 13.10; 6.68 y 8.92 mg/100 g, respectivamente) tuvo el mayor impacto en el contenido de flavonoides, representando solo 6l m6s del 50% de esta familia. El valor medio de la actividad antioxidante total tambi6n fue mayor para las muestras de Nampula (22.1 mg TE/100 g), llegando incluso a 40.0 mg TE/100 g en algunos casos. Los flavonoides espec6ficos: *pinocembrin, kaempferol, rutin* y *catechin*, seguido del 6cido fen6lico clorog6nico fueron las variables m6s importantes en la distinc6n de la miel de Nampula de la de las otras provincias seg6n el resultado de un an6lisis discriminante.

El comportamiento newtoniano de la miel de Mozambique es similar al de otros tipos de miel comercializados a nivel mundial. Los m6dulos G' , G'' y η^* disminuyeron con el aumento de la temperatura. G' y G'' fueron fuertemente influenciados por la frecuencia aplicada, mientras que η^* no dependi6 de este par6metro, lo que demuestra el comportamiento newtoniano. Se aplic6 una red neuronal artificial (ANN) para predecir los par6metros reol6gicos en funci6n de la temperatura, la frecuencia y la composici6n qu6mica. Se encontr6 que un perceptr6n multicapa (MLP) es el mejor modelo para G'' y η^* ($r^2 > 0.950$), mientras que la red neural probabil6stica (PNN) fue la mejor para G' ($r^2 = 0.758$). Las pruebas de sensibilidad mostraron que en el caso de G'' y G' , la frecuencia y la humedad fueron los factores m6s importantes, mientras que para η^* fueron la humedad y la temperatura.

Además de la miel, este trabajo se centra en la caracterización de cera de abeja procedente de las cuatro provincias de Mozambique en términos del perfil de hidrocarburos saturados (por HT-GC/FID) y de las propiedades térmicas (por DSC); y en la comparación con ceras de diferentes orígenes (España, Honduras y "referencia analítica"). Independientemente del origen, se identificaron un total de 15 hidrocarburos comprendidos entre $C_{21}H_{44}$ a $C_{35}H_{72}$ (todos ellos componentes típicos de la cera de abeja pura). La cantidad de hidrocarburos con número de carbonos impares fue mucho mayor a la de carbonos pares, siendo los más abundantes: $C_{27}H_{56}$ (valores promedio 4.18-5.25 g/100 g) seguidos de $C_{29}H_{60}$ (2.15-4.10 g/100 g) y $C_{31}H_{64}$ (2.69-3.42g/100 g). En general, los hidrocarburos no contienen suficiente información útil para la diferenciación de la cera de abeja. Sin embargo, las entalpías de fusión y cristalización junto con todas las temperaturas asociadas con las diferentes formas polimórficas lipídicas permitieron la diferenciación de las provincias de Mozambique de los otros orígenes. Los valores de entalpía de fusión más altos se obtuvieron en las muestras de Mozambique (valores promedio 203-234 J/g) y Honduras (231 J/g), en comparación con las ceras de abeja de España (193 J/g) y la "referencia analítica" (168 J/g), hecho que podría estar vinculado a las mayores temperaturas de los países tropicales. Estos resultados constituyen un paso significativo en la caracterización de la cera de abejas de Mozambique y la mejor comprensión de sus características peculiares.

Este trabajo contribuye a difundir el conocimiento de dos productos apícolas prácticamente desconocidos como son la miel y la cera de abeja de Mozambique. Siempre y cuando las prácticas apícolas se lleven a cabo correctamente, la miel puede tener las características fisicoquímicas de calidad requeridas internacionalmente. El hecho de que la miel de Mozambique es una importante fuente de antioxidantes naturales, puede ser aprovechado por la población local no solo por los beneficios que implica para la salud, sino además por las posibilidades económicas que conllevaría su explotación. La cera de abeja, por otro lado, posee las características típicas que se requieren para la comercialización de este producto, motivo por el cual puede plantearse como una buena opción para ser introducida en un futuro próximo en los mercados, ya que se sabe que está prácticamente libre de residuos veterinarios. En definitiva, esta tesis doctoral puede constituir un primer paso para promover la comercialización de los productos apícolas de Mozambique en los mercados locales e internacionales y apoyar y desarrollar la apicultura en este país.