



## Efecto del tiempo de calentamiento sobre el contenido de 5-Hidroximetilfurfural (HMF) y la actividad de diastasa en miel de abejas (*Apis mellifera*) en Costa Rica

### Effect of heating time on 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) content and diastase activity in honey from bees (*Apis mellifera*) in Costa Rica

\*Tamara Pimentel. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica.

[tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr](mailto:tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr)

<https://orcid.org/0000-0002-5861-2910>

María del Rocío Alfaro Avendaño. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica.

[maria.alfaro.avendano@una.ac.cr](mailto:maria.alfaro.avendano@una.ac.cr)

<https://orcid.org/0009-0006-0555-8101>

Eduardo Umaña. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Costa Rica.

[eduardo.umana.rojas@una.ac.cr](mailto:eduardo.umana.rojas@una.ac.cr)

<https://orcid.org/0000-0002-1872-4571>

\*Autor de Correspondencia: [tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr](mailto:tamara.pimentel.gonzalez@est.una.ac.cr)

Recibido: 15/03/2026

Aceptado: 05/05/2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n2.a10102>

**RESUMEN.** El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tratamiento térmico a 55 °C aplicado durante distintos tiempos sobre la calidad química de la miel de abejas (*Apis mellifera*), mediante la determinación del contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la diastasa. Se analizaron 45 muestras en total y cinco tratamientos correspondientes a distintos tiempos de exposición al calor: 0 h (testigo), 24, 48, 72 y 96 horas. Cada tratamiento se evaluó con diez repeticiones, con excepción del testigo con (cinco muestras). Los análisis químicos se realizaron antes y después de los tratamientos, en el Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT), siguiendo los métodos armonizados de la Comisión Internacional de la Miel. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey y un análisis de correlación de Pearson entre ambas variables. Los resultados mostraron el incremento del tiempo de exposición al calor, lo cual provocó un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en los niveles de HMF y una disminución de la diastasa. La prueba Tukey permitió identificar los tratamientos con comportamiento similar y el análisis de correlación reveló una relación alta y negativa ( $r = -0.70$ ) entre el contenido de HMF y la diastasa, lo cual indica que el deterioro térmico de la miel afecta simultáneamente ambos indicadores. En conclusión, los tratamientos de 24 y 48 horas a 55 °C presentaron menores alteraciones en ambos parámetros, por lo que se consideran las condiciones más adecuadas para preservar la calidad de la miel.

**PALABRAS CLAVE:** apicultura, calidad de miel, tratamiento térmico.

**ABSTRACT.** The objective of this study was to evaluate the effect of heat treatment at 55 °C applied for different durations on the chemical quality of honey (*Apis mellifera*), by determining the content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and diastase. A total of 45 samples were analyzed, representing five treatments with different heat exposure times: 0 h (control), 24, 48, 72, and 96 hours. Each treatment was evaluated with ten replicates, except for the control (which had five samples). Chemical analyses were performed before and after the treatments at the Tropical Apicultural Research Center (CINAT), following the harmonized methods of the International Honey Commission. The data obtained were analyzed using an analysis of variance. Subsequently, Tukey's multiple comparison test and Pearson's correlation analysis were applied between the two variables. The results showed that increased heat exposure time led to a significant increase ( $p < 0.05$ ) in HMF levels and a decrease in diastase. Tukey's test identified treatments with similar behavior, and correlation analysis revealed a strong negative relationship ( $r = -0.70$ ) between HMF content and diastase, indicating that thermal deterioration of honey simultaneously affects both indicators. In conclusion, the 24 and 48 hour treatments at 55 °C showed less alteration in both parameters, so they are considered the most suitable conditions to preserve the quality of the honey.

**KEYWORDS:** beekeeping, honey quality, heat treatment.



## INTRODUCCIÓN

La miel de abejas (*Apis mellifera*) es de composición compleja, formada principalmente de carbohidratos (60-80 %), y agua (12-23 %) (De-Melo et al., 2017). Además, contiene proteínas, minerales, vitaminas, enzimas y productos de la reacción de Maillard, compuestos volátiles y varias sustancias bioactivas (fenoles y flavonoides), entre otros, nutrientes en pequeñas cantidades. Estos parámetros contribuyen en la vida útil junto con otros factores como el aroma, palatabilidad, color, textura e higroscopia y pueden variar según su origen fitológico y geográfico (Cano et al., 2001; Muradian et al., 2013; De-Melo et al., 2017).

Los componentes presentes en la miel pueden deteriorarse cuando el producto se somete a almacenamientos prolongados con temperaturas inapropiadas mayores de 27 °C o a tratamientos térmicos superior a 75 °C. Estas condiciones pueden provocar una disminución de la actividad enzimática, pérdida de la actividad antimicrobiana y alteraciones en las características sensoriales, como el sabor y el aroma, debido a la degradación de sus compuestos naturales. Además, se favorece el aumento del contenido del 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la reducción de la actividad de diastasa (Hernández et al., 2012).

La miel es uno de los productos principales en la apicultura moderna, por lo tanto, por ser de consumo humano (alimenticio), debe cumplir con reglamentos o normas estipuladas que permitirán verificar la calidad de la miel, como las propiedades organolépticas, microbiológicas y fisicoquímicas. Algunos de los parámetros que permiten verificar la calidad de la miel son el contenido de HMF, junto con la actividad de la diastasa, siendo algunos de los principales indicadores de mieles viejas, sobrecalentadas y adulteradas (Ureña et al., 2007).

Es importante determinar las condiciones de temperatura adecuadas que se utilizan en los procesos térmicos de la miel, ya que este producto es muy comercializado y consumido como un alimento muy bondadoso por su composición e inocuidad, por lo tanto, es indispensable determinar de manera correcta las temperaturas en los procesos evitando la pérdida de componentes beneficiosos, preservando su calidad, olor, sabor y otros (De-Melo et al., 2017).

Algunos de los indicadores principales que permiten conocer la calidad y frescura de la miel es el HMF permitido no superior de 40 mg/kg de climas fríos y templados y en zonas de ambiente tropical el HMF no debe exceder los 80 mg/kg. La actividad de la diastasa no debe ser inferior a 8 unidades Schade según el decreto N° 43180 de Costa Rica (Decreto N° 43180, 2022) para mieles multiflorales.

Por consiguiente, en este estudio se pretende explicar la influencia de distintos tiempos de calentamiento a 55 °C sobre el contenido de HMF y la actividad de diastasa, lo cual es fundamental para orientar a los técnicos y productores de miel de abejas (*Apis mellifera*), sobre las condiciones adecuadas de calentamiento (temperatura y tiempo) para mantener las cualidades beneficiosas de la miel, acorde con la normativa nacional e internacional vigente para este producto.



## MATERIALES Y MÉTODO

### Área de estudio

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Química Apícola del Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales, de la Universidad Nacional (UNA), ubicada en el Campus Benjamín Núñez, provincia de Heredia, Costa Rica (9°58'22" N; 84°07'46"O).

### Análisis de muestras

Para el desarrollo del experimento se analizaron 45 submuestras de miel de abejas (*Apis mellifera*), las cuales fueron sometidas a diferentes tratamientos térmicos con el objetivo de evaluar el efecto del calentamiento sobre el contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la diastasa. Las muestras fueron expuestas a una temperatura constante de 55 °C, variando únicamente en el tiempo de tratamiento. Los niveles evaluados correspondieron a 0 horas (testigo), 24, 48, 72 y 96 horas de exposición al calor. El tratamiento T0 (0 horas) consistió en cinco muestras sin tratamiento térmico, utilizadas como referencia para comparar los efectos del tiempo de calentamiento.

Para la preparación de las muestras experimentales, inicialmente se recolectaron cinco muestras de miel de 500 ml de productores locales costarricenses, las cuales fueron analizadas para determinar su contenido inicial de HMF, diastasa, humedad y acidez libre, con el fin de verificar que las mieles utilizadas en el ensayo se encontraban inicialmente en condiciones adecuadas de calidad. Posteriormente, a partir de estas cinco muestras (testigo), se obtuvieron las 10 submuestras de 30 ml para cada tratamiento térmico, generando el conjunto de 45 observaciones experimentales utilizadas para el análisis estadístico.

La determinación del contenido de HMF y la diastasa se realizó utilizando los métodos armonizados de la Comisión Internacional de la Miel, según descrito por Bogdanov et al. (2002).

En la Tabla 1 se muestra el análisis químico para verificar que las mismas se encuentren dentro de los límites establecido en la miel, manteniendo niveles aceptables de diastasa y HMF. Además, se determinó la humedad y acidez libre, como otros indicadores de referencias en la calidad del producto.

**Tabla 1**

*Análisis químico de las muestras de miel de abejas (*Apis mellifera*) utilizadas en el ensayo antes del tratamiento térmico.*

Muestra 500 ml	Diastasa UGothe/g	HMF mg/Kg	Humedad %	Acidez libre meq/kg
Límites	8 Min	80 Max	21 Max	50Max
1	19	0	19,0	29,77
2	26	6	20,3	25,32
3	9	45	17,1	37,97
4	20	13	18,0	24,06
5	24	22	15.6	33.53

Límites: son valores de referencia permitidos para garantizar la calidad de miel descritas por el *Codex Alimentarius* (2001).



Posteriormente, los datos obtenidos de cada análisis químico correspondiente a cada tratamiento fueron organizados en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel de forma ordenada y compatible para su posterior procesamiento y análisis.

### Diseño y Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados mediante el Diseño Completamente al Azar (DCA) con un factor (tiempo), empleando el siguiente modelo estadístico lineal utilizado para el análisis de varianza:

$$Y_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = valor observado de las variables de respuesta (HMF y Diastasa), en el tratamiento  $i$  y su repetición  $j$ .

$\mu$  = media general del experimento.

$T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento térmico de 55°C ( $i$  = 0, 24, 48, 72 y 96 horas).

$e_{ij}$  = error experimental asociado a cada observación.

Para verificar el supuesto de normalidad se usó la prueba de Shapiro-Wilk y para verificar la homogeneidad de la varianza mediante la prueba de Levene. Posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de una vía, para las variables HMF y diastasa. Además, se empleó la comparación de media múltiple Tukey, para comparar los tratamientos. Finalmente, se realizó la correlación de Pearson entre ambas variables del estudio. Para representar los promedios se elaboraron gráficas de cajas. La significancia considerada para las evaluaciones estadísticas fue el 5 % de error ( $p < 0.05$ ). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2018).

## RESULTADOS

### 5-Hidroximetilfulfural HMF (mg/kg)

El análisis de varianza (ANOVA) presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p = 0.0174$ ), lo que confirma que el tiempo de calentamiento influye significativamente en la formación de HMF en la miel. Asimismo, la prueba de comparación múltiple de Tukey indicó que los tratamientos de 72 y 96 horas presentaron los valores más altos de HMF, mientras que los tratamientos 0 y 24 horas mostraron los valores más bajos, reflejando un incremento asociado al tiempo de exposición térmica (Figura 1).

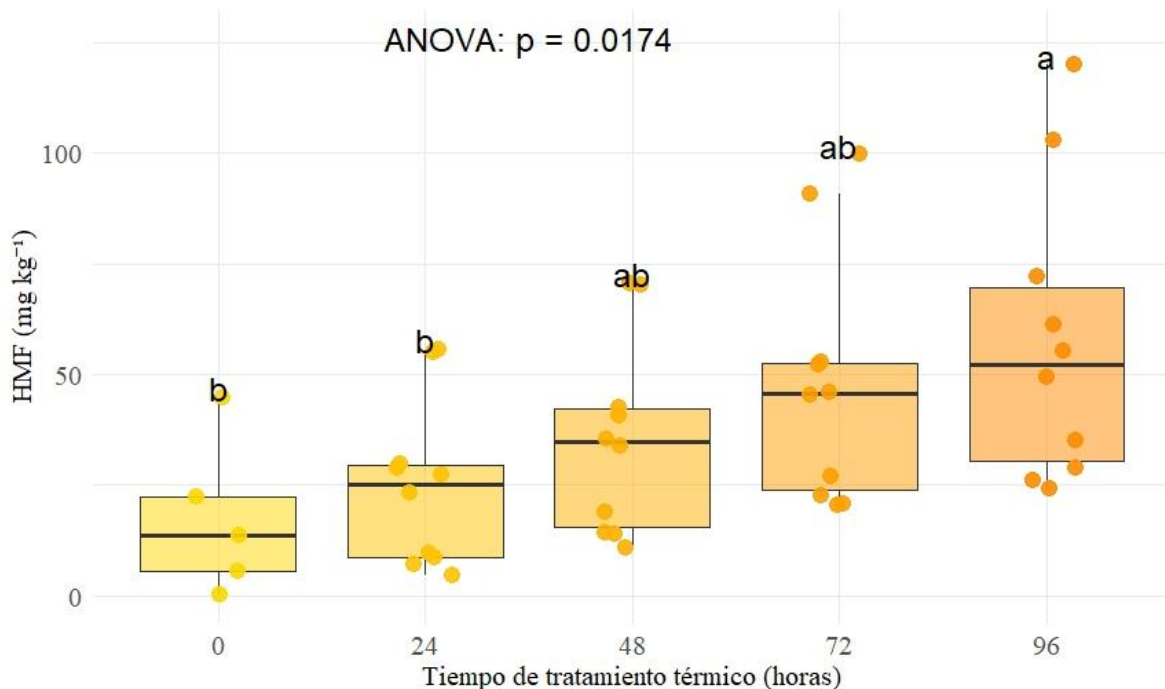
Al comparar el tratamiento testigo (0 h) con los tratamientos térmicos aplicados, se observó un incremento progresivo en la concentración de HMF conforme aumentó el tiempo de calentamiento. En relación con el testigo, el tratamiento de 24 horas presentó un aumento promedio de 44.80 %, mientras que los tratamientos de 48, 72 y 96 horas registraron incrementos de 104.02%, 177.29% y 233.83%, respectivamente. Esto indica una relación consistente entre el tiempo de exposición al calor y la formación del HMF, mostrando la acumulación continua durante el tratamiento térmico utilizado.

Asimismo, al evaluar el porcentaje de incremento entre tratamientos consecutivos, se observó que el aumento entre 24 y 48 horas fue de 40.9%, mientras que los incrementos entre 48 y 72 horas y entre 72 y 96 horas fueron de 35.9 % y 20.4%, respectivamente. Aunque la concentración de HMF continuó incrementado, la magnitud del aumento entre intervalos sucesivos fue disminuyendo progresivamente. Este comportamiento sugiere que la formación de HMF ocurre con mayor rapidez durante las etapas iniciales del calentamiento y posteriormente continúa acumulándose, pero a una tasa menor conforme avanza la exposición térmica.

En conjunto, estos resultados confirman que el HMF es un indicador sensible del deterioro térmico de la miel, ya que su concentración aumenta progresivamente con el tiempo de calentamiento.

### Figura 1

*Efecto del tiempo de calentamiento a 55 °C sobre el contenido de 5-hidroximetilfurfural HMF (mg/kg) en miel de abeja (*Apis mellifera*) de Costa Rica (n = 45). Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ), mediante la prueba Tukey.*



### Diastasa (UGothe/g)

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p=0.00226$ ), lo que confirma que el tiempo de tratamiento térmico influye significativamente en el contenido de la diastasa en la miel. La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que los tratamientos con mayor tiempo de exposición térmica presentaron las menores actividades enzimáticas (Figura 2).

Los niveles de diastasa mostraron una disminución progresiva conforme aumentó el tiempo de tratamiento térmico a 55 °C. El tratamiento testigo (0 horas) presentó los valores más altos de



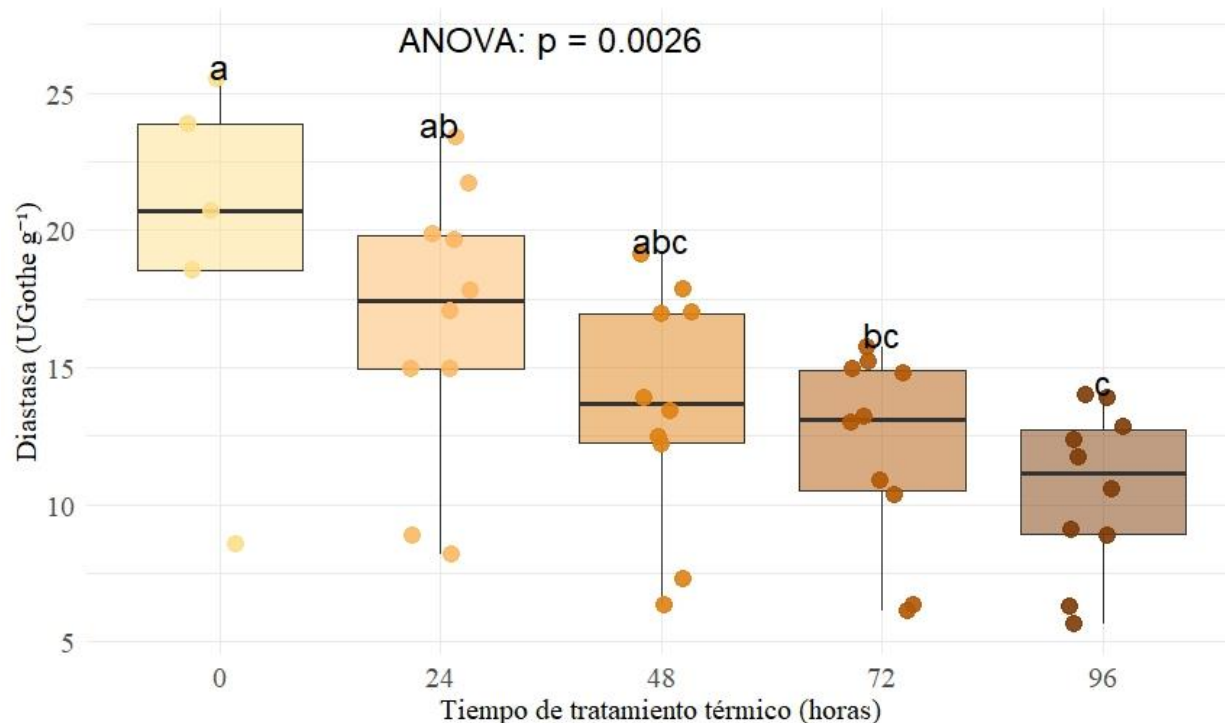
diastasa, con una mediana cercana a 21 UGothe/g, indicando que la miel mantenía su actividad enzimática original antes de ser sometida al calentamiento del estudio.

En comparación con el testigo, el tratamiento de 24 horas mostró una reducción aproximada de (14.38 %) de diastasa, con valores cercanos a 17 UGothe/g. Posteriormente, el tratamiento de 48 horas presentó una disminución más marcada, alcanzando aproximadamente 14 UGothe/g, lo que corresponde a una reducción cercana al (29.71 %), mientras que el tratamiento de 72 horas presentó reducción de (37.92 %), y el tratamiento de 96 horas presentó los valores más bajos de diastasa, alrededor de 11 UGothe/g, representando una disminución aproximada del 45.83% en comparación con el tratamiento testigo.

En conjunto, estos resultados indican que la actividad de la diastasa en miel de abejas (*Apis mellifera*) disminuye progresivamente con el aumento del tiempo de calentamiento a 55 °C, lo que confirma que este parámetro de calidad es un indicador sensible del deterioro térmico de la miel, complementando la información proporcionada por el contenido de HMF.

### Figura 2

Efecto del tiempo de calentamiento a 55 °C sobre la actividad de diastasa (UGothe/g) en miel de abeja (*Apis mellifera*) de Costa Rica, (n = 45). Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) mediante la prueba Tukey.



### Correlación entre el contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y diastasa

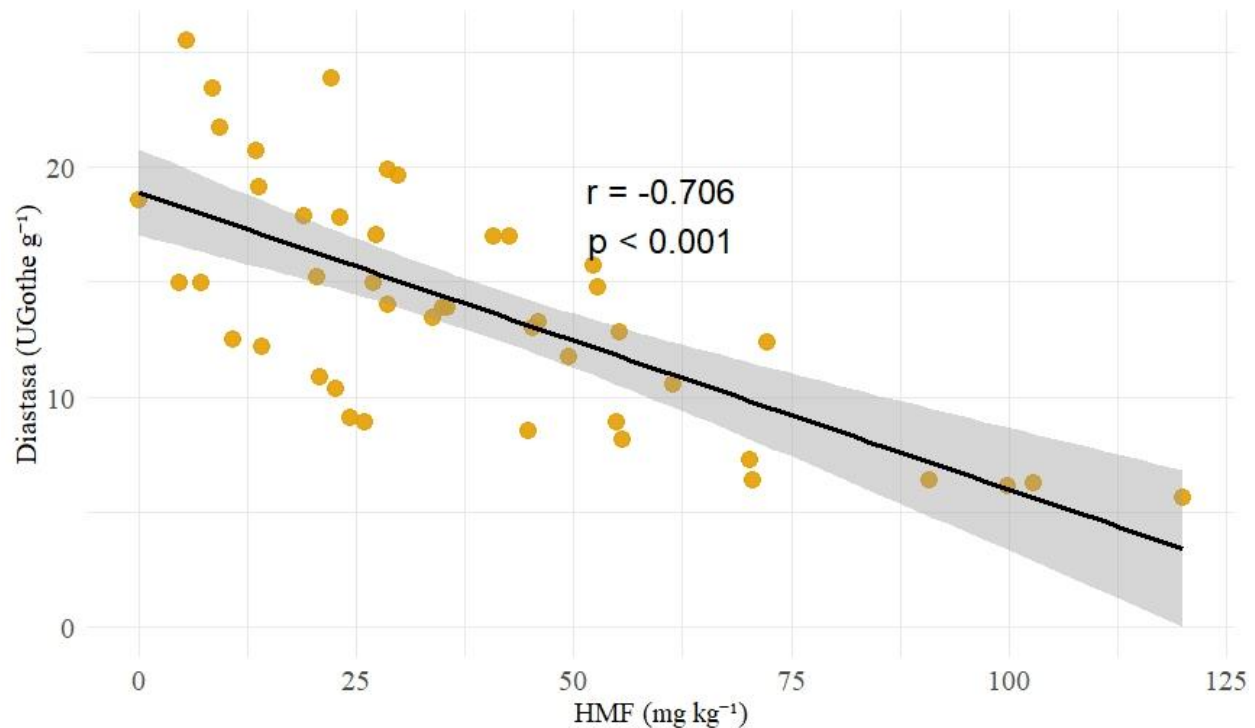
El análisis de correlación evidenció una relación altamente significativa ( $p = 5.89 \times 10^{-8}$ ) entre el contenido de HMF y la diastasa de la miel. El coeficiente de correlación de Pearson ( $r = -0.706$ )



indicó una correlación negativa fuerte, lo que significa que a medida que aumenta la concentración de HMF, la diastasa tiende a disminuir. Este resultado confirma que el incremento de HMF está estrechamente asociado con la pérdida de actividad enzimática en la miel (Figura 3).

### Figura 3

Correlación de Pearson entre el contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y la actividad de diastasa en miel de abejas (*Apis mellifera*) de Costa Rica ( $n = 45$ ), sometidas a tratamientos térmicos de 55 °C, durante (0-96 horas).



Desde el punto de vista tecnológico, este comportamiento se explica porque el HMF es un producto de degradación que se forma durante el calentamiento o almacenamiento prolongado de la miel, principalmente por reacciones de deshidratación de azúcares como la fructuosa. Paralelamente, la diastasa es una enzima naturalmente presente en la miel que es sensible a las altas temperaturas, por lo que su actividad disminuye cuando el producto es sometido a tratamientos térmicos prolongados.

La pendiente negativa observada en el modelo de regresión lineal confirma esta tendencia: muestras con mayor concentración de HMF presentan sistemáticamente menores valores de diastasa. Esto sugiere que ambos parámetros actúan como indicadores complementarios de deterioro térmico de la miel.

En términos prácticos, estos resultados indican que el incremento del HMF puede utilizarse como un indicador indirecto de la pérdida de la calidad enzimática de la miel, mientras que la disminución de la diastasa refleja la degradación de las enzimas naturales del producto. Por ello, la evaluación conjunta de HMF y diastasa es ampliamente utilizada en los estándares



internacionales de calidad de miel para detectar procesos de sobrecalentamiento o almacenamiento prolongado.

## DISCUSIÓN

Determinar el comportamiento de estos parámetros de calidad de miel permitió identificar el grado de tolerancia al tratamiento térmico de 55 °C entre los periodos utilizados en este ensayo (0, 24, 48, 72 y 96 horas). Por lo tanto, se evidenció el efecto del calentamiento y el tiempo de exposición sobre los dos indicadores HMF y diastasa.

Los dos indicadores fundamentales de calidad en la miel presentaron comportamientos opuestos y complementarios, ya que a medida que el HMF aumentaba progresivamente en los diferentes tratamientos, la diastasa se redujo de forma significativa, mostrando la degradación enzimática por el efecto del calor. Estos resultados fueron similares a los encontrados por (Bogdanov et al., 1999; Fallico et al., 2004; Sawarkar, 2024) quienes mostraban que el incremento del HMF y la disminución de la diastasa son indicadores puntuales y efectivos del envejecimiento y deterioro térmico de la miel de abejas (*Apis mellifera*).

El *Codex Alimentarius* (2001), indica que los valores de diastasa deben mantenerse por arriba de 8 UGothe/g, mientras que el HMF debe estar por debajo de 80 mg/kg. En este estudio la media obtenida por cada tratamiento se mantuvo en estos rangos indicados. Sin embargo, es importante destacar que los tratamientos térmicos con 24 y 48 horas mantuvieron menores alteraciones de estos parámetros, por lo que se consideran más eficiente para conservar la calidad de la miel. Adicional al tratamiento térmico, es necesario informar que el comportamiento de estos parámetros puede ser afectados por las prácticas de cosecha, transporte, almacenado, origen floral y geográfico entre otros, (Zappalà et al., 2005; Al-Waili et al., 2012).

Bajo este escenario, el efecto del tiempo de calentamiento sobre los resultados del contenido del HMF y la diastasa, justifica el comportamiento progresivo de estas variables dentro del intervalo de tiempo evaluado (0 a 96 horas). En este rango, la actividad de estas dos variables muestra la relación directa con el HMF e indirecta con la diastasa, en el tiempo de calentamiento prolongado en este estudio.

Estos resultados mostrados anteriormente son adecuados, ya que el comportamiento de estas dos variables ocurre de forma progresiva (Turhan et al., 2008). Por lo tanto, este ensayo es una herramienta práctica para comparar la sensibilidad térmica entre diferentes muestras de mieles, permitiendo estimar tasas de pérdida enzimática en el caso de la diastasa o la formación del HMF para proyectar comportamientos similares (Bogdanov et al., 1999; Escudero et al., 2014).

En cuanto al análisis de correlación de Pearson entre las variables diastasa y HMF la correlación fue negativa significativa, confirmando el efecto destructivo sobre las enzimas termolábiles presentes en la miel. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado, ya que durante el calentamiento las reacciones de degradación de los azúcares, principalmente la fructosa, genera el HMF, mientras que la diastasa se desnaturaliza progresivamente por acción térmica (Fallico et al., 2004; Sousa et al., 2016).



En general, los resultados encontrados muestran que la formación de HMF se ve potenciada por las condiciones térmicas y químicas que impulsan la pérdida de agua y la descomposición de carbohidratos reductores. Esto consolida al HMF como un parámetro térmico confiable del detrimento de la calidad de la miel, dado que su incremento refleja tanto la intensidad como la duración del tratamiento térmico y las características iniciales en la miel (Tertrab et al., 2008; Rybak-Chmielewsk & Szczesna, 2018).

Por otro lado, la diastasa, presenta una relación inversa con el grado de calentamiento y con el contenido de azúcar, sugiriendo su pérdida en la actividad relacionándola con la desnaturalización proteica provocada por el calor, la evolución de reacciones de oxidación y caramelización que alteran el contenido de la miel de abejas (Sousa et al., 2016).

## CONCLUSIONES

El tiempo de calentamiento a 55 °C influyó significativamente en la calidad de la miel de abejas (*Apis mellifera*), aumentando el contenido de 5-hidroxi-melfurfural (HMF), y reduciendo la actividad de diastasa. En este contexto, los tratamientos térmicos moderados de (24 y 48 horas a 55 °C) permitió mantener mejores condiciones para preservar la calidad de la miel durante su procesamiento.

El análisis de correlación mostró una relación negativa entre el HMF y la diastasa, evidenciando que a mayor formación de HMF, menor es la actividad enzimática de la miel; por tanto, el análisis conjunto de ambos indicadores fortalece la evaluación del deterioro térmico, lo cual es fundamental para garantizar la calidad de la miel para el consumo.

## AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT) por el apoyo brindando durante el desarrollo de esta investigación y por las facilidades proporcionadas para la obtención y análisis químico de las muestras de miel usadas en este ensayo. De manera especial, se reconoce el valioso acompañamiento académico de los profesores del Programa de Maestría en Apicultura Tropical, cuya orientación y aportes científicos contribuyeron significativamente al desarrollo y fortalecimiento de este estudio. También se agradece al personal técnico y a los productores apícolas que facilitaron las muestras de miel en esta investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.



## REFERENCIAS

- Al-Waili, N., Salom, K., Al-Ghamdi, A., & Ansari, M. J. (2012). Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: Human health hazards. *The Scientific World Journal*, 2012, 1–9. <https://doi.org/10.1100/2012/930849>
- Bogdanov, S., & Martin, P. (2002). Honey authenticity: A review. *Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 93, 232–254.
- Bogdanov, S., Martin, P., & Lüllmann, C. (1999). *Harmonised methods of the European Honey Commission*. *Apidologie*, Extra Issue, 1–59. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19980200248>
- Cano, C. B., Felsner, M. L., Matos, J. D. R., Bruns, R. E., Whatanabe, H. M., & Almeida-Muradian, L. D. (2001). Comparison of methods for determining moisture content of citrus and eucalyptus Brazilian honeys by refractometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(1), 101–109. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0951>
- Codex Alimentarius Commission. (2001). *Revised Codex standard for honey (CODEX STAN 12-1981, Rev. 1 (1987), Rev. 2 (2001))*. FAO/WHO Food Standards Programme. [fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B12-1981%252Fcx\\_012e.pdf](http://fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B12-1981%252Fcx_012e.pdf)
- De Melo, A. A., Almeida-Muradian, L. B. de, Sancho, M. T., & Pascual-Maté, A. (2017). Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 5–37. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338444>
- Decreto N.º 43180-MEIC-MAG, del 20 de enero del 2020. (2020). *Resolución RTCR 500: 2020. Productos apícolas. Miel de abejas. Especificaciones*. Ministerio de Economía, Industria y Comercio & Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://vlex.co.cr/vid/decreto-ejecutivo-n-43180-882943407>
- Escuredo, O., Dobre, I., Fernández-González, M., & Seijo, M. C. (2014). Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. *Food Chemistry*, 149, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.097>
- Fallico, B., Zappalà, M., Arena, E., & Verzera, A. (2004). Effects of conditioning on HMF content in unifloral honeys. *Food Chemistry*, 85(2), 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.006>
- Hernández, M. A. L., Moreno, O. P., Pereira, D. S., & Téllez, A. L. R. (2012). Determinación de propiedades termofísicas en diferentes mieles de abeja recolectadas en el estado de Puebla. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*, 7(4), 41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7422276>.



- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado en 22 de junio de 2022, URL <https://www.R-project.org/>.
- Rybak-Chmielewska, H., & Szczęśna, T. (2018). Changes in diastase activity, hydroxymethylfurfural content and invertase activity in Polish honeys during storage at different temperatures. *Journal of Apicultural Science*, 62(2), 189–199. <https://doi.org/10.2478/jas-2018-0017>
- Sawarkar, A. B. (2024). Effect of Different Storage Conditions on HMF, Diastase and Invertase Activity in A. florea Honey from Jalgaon District, North Maharashtra, India. Uttar Pradesh *Journal of Zoology*, 45(21), 273-282. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i214636>
- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: Effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12, 1–18. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3>
- Sousa, J. M. B., Souza, E. L., Marques, G., Benassi, M. T., Gullón, B., Pintado, M. M. E., & Magnani, M. (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT – Food Science and Technology*, 65, 645–651. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.058>
- Terrab, A., Recamales, Á. F., Hernanz, D., & Heredia, F. J. (2008). Influence of botanical origin on the physicochemical parameters and antioxidant activity of honeys from the southwestern Iberian Peninsula. *Food Chemistry*, 106(3), 1106–1113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.047>
- Turhan, I., Tetik, N., Karhan, M., Gurel, F., & Tavukcuoglu, H. R. (2008). Quality of honeys influenced by thermal treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 41(8), 1396–1399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.09.008>
- Ureña Varela, M., Arrieta Bolaños, E., Umaña, E., Zamora, L. G., & Arias Echandi, M. L. (2007). Evaluación de la posible adulteración de mieles de abeja comerciales de origen costarricense al compararlas con mieles artesanales provenientes de apiarios específicos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(1), 63–69. [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222007000100009&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222007000100009&script=sci_arttext)
- Yupangui, D. A. R., Castelo, G. A. I., Capus, C. P., & Navarrete, E. V. F. (2020). Afectación térmica de la miel de abeja en una metodología alternativa, monitoreando hidroximetilfurfural, número de diastasa y vitamina C. *Conciencia Digital*, 3(2.1), 41–63. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1.1219>



Zappalà, M., Fallico, B., Arena, E., & Verzera, A. (2005). Methods for the determination of HMF in honey: A comparison. *Food Control*, 16(3), 273–277.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.03.006>