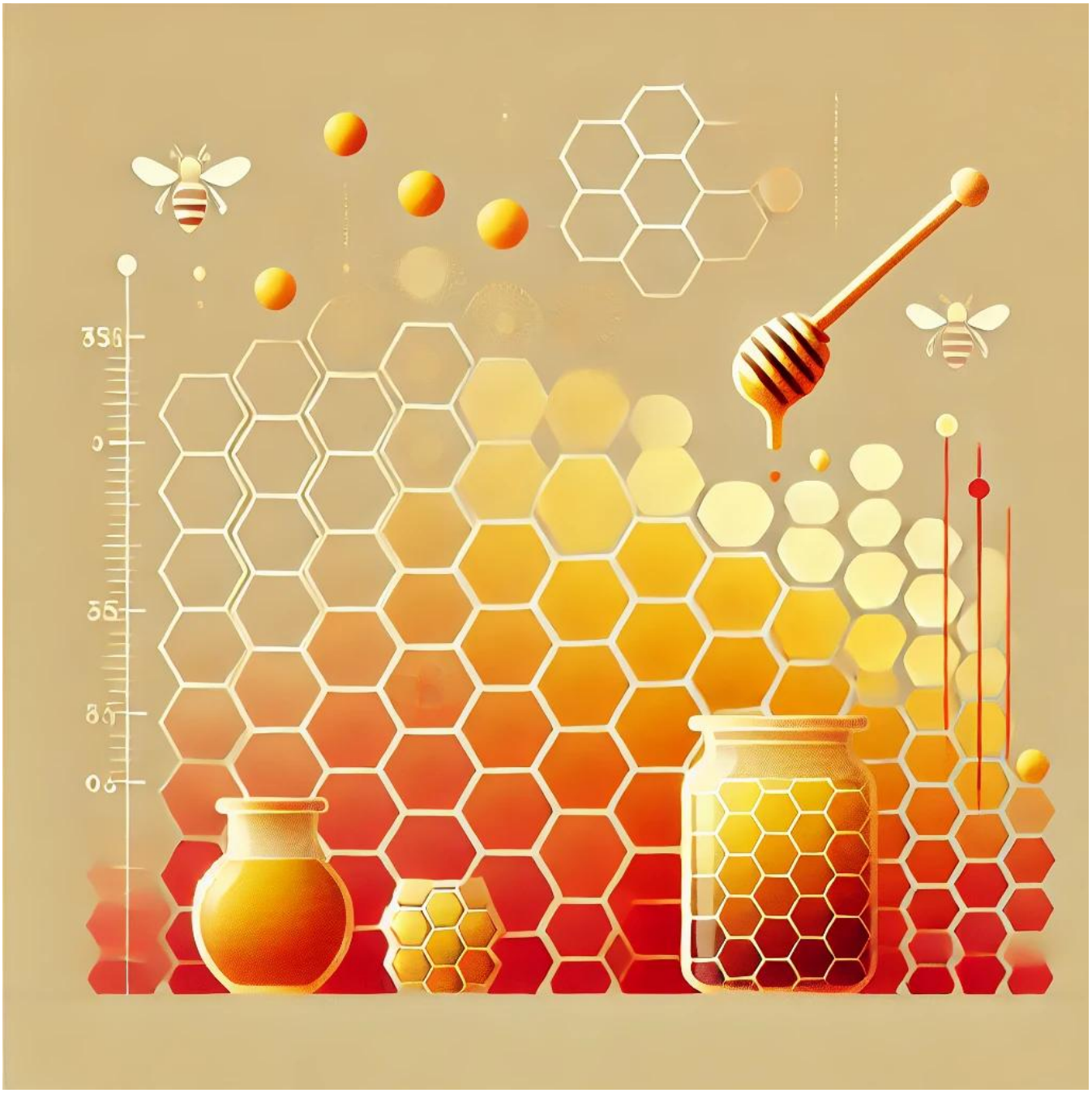


EL LADO OSCURO DE LA MIEL

LAURA GONZÁLEZ ALVAREZ, SAMUEL SANCHEZ CRUZ

SAMUEL GONZÁLEZ ALVAREZ, PABLO RAMOS COSTA

Franciscanas
colegio divina pastora
Ourense

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 2
2. OBJETIVOS 3
3. METODOLOGÍA 3
3.1. Descripción de la recogida de muestras 3
3.2. Diseño del experimento 4
3.3. Análisis del contenido de HMF en miel 5
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 7
5. CONCLUSIONES GENERALES 12
6. POSIBLES MEJORAS DE CARA A TRABAJOS FUTUROS 13
7. CONSEJOS PARA CONSERVAR LA MIEL EN CASA 13
8. AGRADECIMIENTOS 14
9. BIBLIOGRAFÍA 15

1. INTRODUCCIÓN

Somos un grupo de cuatro alumnos de 1º de bachillerato y, cuando nuestra profesora de matemáticas nos habló sobre este concurso, nos animamos a presentarnos con un proyecto que tuviera relación con cosas que ya habíamos trabajado en clase, pero que también nos pareciera interesante investigar por nuestra cuenta.

Pensando en posibles ideas, nos acordamos de que un día, hablando con nuestro profesor de inglés, nos contó que él tiene colmenas y que produce su propia miel. Nos explicó que, si la miel se sobrecalienta, puede estropearse, perder sus propiedades y llegar incluso a ser perjudicial para la salud. Eso nos llamó bastante la atención, porque siempre habíamos pensado que la miel era un alimento natural que se conservaba bien y no se estropeaba fácilmente.

A partir de ese momento empezamos a investigar un poco más y encontramos dos noticias que reforzaron nuestro interés. En una, publicada en HuffPost, un apicultor contaba que guardar la miel cerca del calor, como en una estantería sobre un radiador, puede alterar su composición. En otra noticia leímos que, en 2024, la Guardia Civil desmanteló una red en Valencia que distribuía miel adulterada con pesticidas, lo que nos hizo reflexionar sobre la seguridad alimentaria y lo poco que a veces sabemos sobre los productos que consumimos. También nos pareció un tema muy adecuado porque en Galicia se produce una de las mejores mieles de España, y muchas están protegidas por la Indicación Geográfica Protegida (IGP) "Mel de Galicia", que garantiza su origen y calidad.

Sin embargo, a pesar de sus múltiples beneficios, en la miel también puede aparecer compuestos indeseables. Durante la búsqueda de información encontramos que las mieles pueden contener una sustancia llamada HMF (5-hidroximetilfurfural). Vimos que cuanto mayor es su concentración, peor es el estado de la miel.

Además, si su concentración supera los 40 mg/kg, ya no se puede comercializar legalmente, según el Real Decreto 1049/2003. Esto se debe a que este compuesto ha demostrado ser tóxico, especialmente en modelos experimentales animales, provocando estrés oxidativo a nivel celular e incluso generar cáncer o provocar daños a nivel del riñón o el hígado.

Por lo tanto, queríamos entender mejor cómo influye el calor o el paso del tiempo en un producto tan típico y valioso en nuestra comunidad. Le contamos nuestra idea a nuestra profesora de matemáticas y, como conocía a dos profesoras que trabajan en un laboratorio universitario, les pedimos ayuda para poder hacer la parte práctica del trabajo. Nos prestaron el espacio del laboratorio y nos enseñaron a preparar y analizar las muestras, algo que sin su apoyo no habríamos podido hacer.

Este proyecto no solo nos ayudó a aprender cosas nuevas y a aplicar conocimientos de clase, sino que también está relacionado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 3 (Salud y bienestar), ya que investiga cómo se puede conservar correctamente un alimento y cómo afecta eso a nuestra salud y con el 4 (Educación de Calidad), ya que a través del proyecto, reflexionamos sobre la importancia de la educación y cómo esta nos ayuda a desarrollarnos tanto a nivel personal como social

Para realizar el experimento, utilizamos cuatro mieles diferentes (dos caseras y dos comerciales), que almacenamos a dos temperaturas diferentes: temperatura ambiente y 40 °C. Semanalmente, tomamos muestras para medir el contenido de HMF y después analizamos los resultados para sacar nuestras propias conclusiones.

2. OBJETIVOS

Nuestro objetivo principal con este proyecto fue comprobar cómo influye la temperatura de almacenamiento en el contenido de HMF (5-hidroximetilfurfural) en distintos tipos de miel, tanto casera como comercial. Queríamos entender si el calor puede hacer que la miel pierda calidad o incluso deje de ser apta para el consumo, y cómo se puede detectar esto mediante un análisis de laboratorio. Después de hablar con nuestra profesora de matemáticas, y tras contactar con las profesoras de la universidad de Vigo que imparten docencia en el Grado de Ciencia y tecnología de los Alimentos que nos ayudaron con el experimento, nos planteamos una serie de objetivos claros para organizar nuestro trabajo.

Estos son los objetivos concretos que nos marcamos:

- Investigar qué es el HMF, por qué se forma en la miel y qué significa su presencia en grandes cantidades. Queríamos comprender por qué es un indicador de deterioro y cuál es el límite legal permitido.

- Diseñar y llevar a cabo un experimento en el que pudiéramos medir el HMF en distintas mieles, sometidas a dos temperaturas diferentes: ambiente y 40 °C, para ver cómo varía su calidad.

- Aprender a trabajar en el laboratorio, preparar correctamente las muestras, seguir el procedimiento y utilizar instrumentos reales con seguridad y precisión, con el acompañamiento de profesoras expertas.

- Analizar los resultados y comprobar si el HMF aumentaba con el calor y si existían diferencias entre las mieles caseras y las comerciales.

- Reflexionar sobre la conservación adecuada de los alimentos, valorar la importancia de consumir productos locales como la miel gallega, que cuenta con la Indicación Geográfica Protegida (IGP) “Mel de Galicia”, y entender mejor cómo se garantiza su calidad.

- Relacionar el proyecto con el ODS 3 (Salud y bienestar), ya que al analizar el contenido de HMF estamos tratando un tema que afecta directamente a la seguridad alimentaria y, por tanto, a la salud de las personas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción de la recogida de muestras

Para llevar a cabo este proyecto, seleccionamos inicialmente cuatro tipos de mieles (Figura 1):

- Miel A y B: muestras de miel casera, procedentes de apicultores locales, sin tratamientos industriales. Ambas mieles fueron descartadas tras los primeros análisis porque, aunque

no contenían HMF, presentaban un componente que interfería en los análisis dificultando la interpretación de los datos obtenidos y generando valores negativos.

- Miel C y D: mieles comerciales, compradas en supermercados de la ciudad con diferente composición.

- Miel E y F: A mitad del proceso compramos otras dos mieles comerciales, debido a los problemas que nos encontramos con las mieles caseras previamente explicados.

Por lo tanto, tuvimos que realizar todo el experimento con 4 mieles comerciales.

Figura 1. Muestras de miel analizadas

3.2. Diseño del experimento

Cada miel se sometió a dos condiciones de almacenamiento diferentes:

- 4 botes de cada tipo de miel se conservaron a temperatura ambiente (23 °C).

- 4 botes de cada tipo de miel se colocaron durante un mes en una incubadora ajustada a 40 °C (Figura 2), para simular las condiciones de un almacenamiento inadecuado, como podría suceder si se guarda la miel cerca de una fuente de calor.

Figura 2. Botes de miel almacenados a 40 °C

Cada semana quitábamos un tarro de cada miel, tanto de las almacenadas a temperatura ambiente como a 40 °C, para analizarlas en los laboratorios de la universidad y determinar la concentración de 5-hidroximetilfurfural (HMF) en cada muestra. En total analizamos 96 muestras:

4 TIPOS DE MIEL x 2 TEMPERATURAS x 3 RÉPLICAS DE ANÁLISIS x 4 SEMANAS

3.3. Análisis del contenido de HMF en miel

El compuesto HMF se genera de forma espontánea y natural en la miel mediante un proceso de deshidratación de los azúcares, principalmente de la fructosa, en un medio ácido como el de la miel (pH<4,5). Por lo tanto, el contenido de HMF en la miel va aumentando con el tiempo de almacenamiento. Este es un proceso lento, pero se puede ver acelerado por la temperatura (tratamientos térmicos inadecuados durante el proceso de obtención de la miel o una inadecuada temperatura de almacenamiento). Por este motivo, el contenido de HMF se puede emplear como parámetro indicador de la calidad de la miel, puesto que cuanto mayor es su concentración, peor es el estado de la miel.

La determinación del contenido de HMF se llevó a cabo siguiendo el método oficial de análisis que tras una etapa de eliminación de sustancias interferentes presentes en la muestra de miel permite cuantificarlo mediante espectrofotometría en la región ultravioleta (Figura 3). Esta técnica nos proporcionó datos precisos sobre la concentración de HMF en cada muestra

Durante todo el proceso intentamos ser lo más rigurosos posible: etiquetamos correctamente todas las muestras, trabajamos con material limpio y calibrado, y tomamos nota detallada de los datos obtenidos. Además, contamos con la colaboración de personal universitario, que nos

asesoró y guio en la parte experimental, especialmente en el manejo del espectrofotómetro y en la interpretación de los resultados.

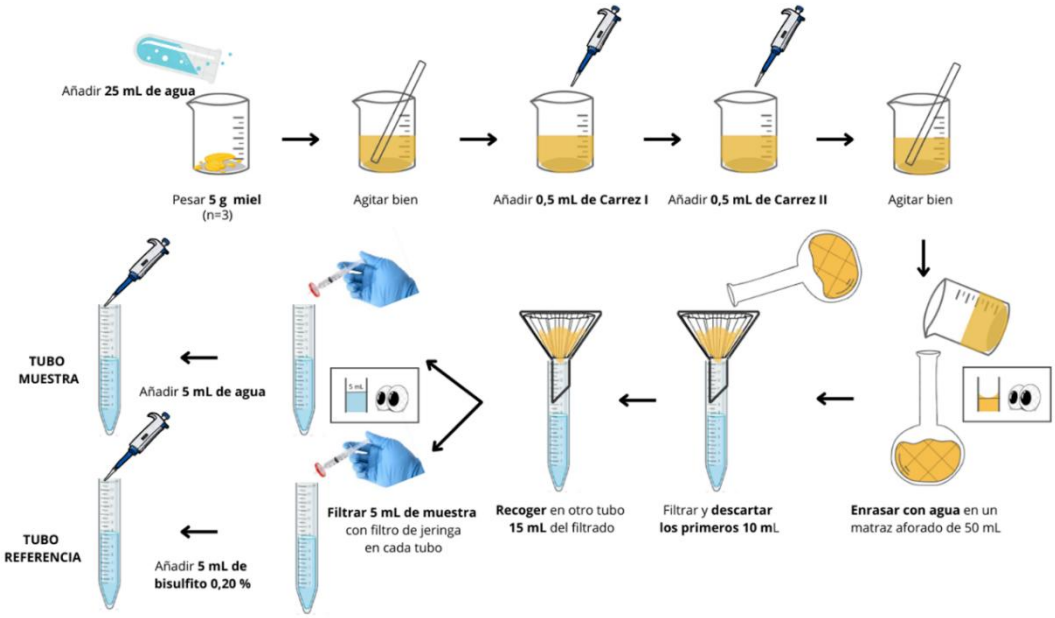
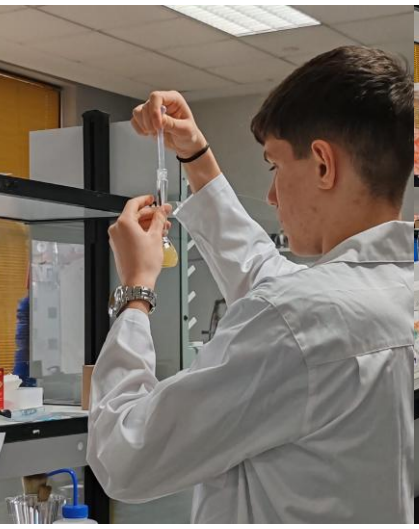
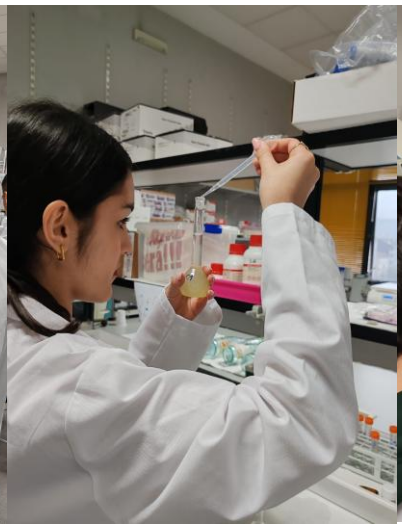
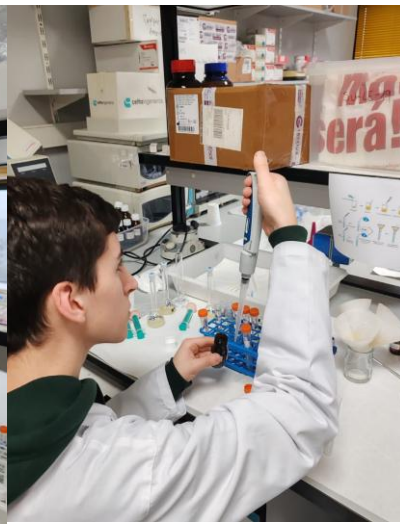


Figura 3. Esquema del proceso

El primer paso del procedimiento es pesar por triplicado 5 gramos de cada tipo de miel con una báscula en tres vasos de precipitados. Posteriormente, añadiremos a cada vaso de precipitados 25 ml de agua ultrapura y removeremos con una varilla de vidrio hasta que se disuelva la miel. Luego añadimos 0,5 ml de Carrez I y 0,5 ml de Carrez II y agitamos hasta que la mezcla quede turbia. Estos reactivos permiten precipitar sustancias que están presentes en la muestra y que podrían interferir en el análisis por espectrofotometría. Una vez hecho todo esto echamos el contenido del vaso de precipitados en un matraz aforado de 50 ml y enrasamos con agua hasta el enrase. A continuación, filtramos la muestra del matraz aforado con un papel de filtro descartando los primeros 10 ml y guardando el resto. Posteriormente, filtraremos la muestra con un filtro de jeringa y la dividiremos en dos: 5 ml de se depositarán en el tubo al que llamaremos MUESTRA y le añadiremos 5 ml de agua pura y otros 5ml se depositarán en el tubo al que llamaremos REFERENCIA y le añadiremos 5 ml de bisulfito sódico. Luego el contenido de cada probeta lo mediremos en el espectrofotómetro a dos longitudes de onda diferentes (284 y 336 nm).



Los datos de absorbancia obtenidos en el espectrofotómetro se introdujeron en la hoja de Excel donde metimos la fórmula para calcular el HMF:

$$HMF\ \left({}^{mg}/_{kg}\right) = \frac{\left[(Abs_{284} - Abs_{336})_{muestra} - (Abs_{284} - Abs_{336})_{referencia}\right] \times 149{,}7 \times 5}{P}$$

Siendo:

P: peso de la muestra en gramos.

149,7: factor para expresar el contenido en HMF en mg/kg. Incluye el peso molecular del HMF y el coeficiente de extinción molar.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez obtenidos los datos, los organizamos en una tabla para facilitar su análisis y comparación. Las mediciones se realizaron utilizando un espectrofotómetro, que nos permitió obtener valores de absorbancia y calcular a partir de ellos la concentración de HMF, expresada en mg/kg.

Tabla 1. Datos obtenidos experimentalmente en las diferentes mieles almacenadas a temperatura ambiente.

TIEMPO	TEMPERATURA	TIPO DE MIEL	PESO	MUESTRA ABS 284	MUESTRA ABS 336	REFERENCIA ABS 284	REFERENCIA ABS 336	X DISOLUCIÓN	HMF disol	HMF mue	promedio	SD	CV
T 0	23	A	5	0.46	0.173	0.52	0.204	3	-4.3	-13.0	-10.2	4.7	-46.2
T 0	23	A	5.1	0.436	0.164	0.503	0.202	3	-4.3	-12.8			
T 0	23	A	5.2	0.469	0.177	0.507	0.204	3	-1.6	-4.8			
T 0	23	B	5	0.392	0.205	0.418	0.218	3	-1.9	-5.8	-5.3	7.7	-145.0
T 0	23	B	5.3	0.382	0.194	0.451	0.233	3	-4.2	-12.7			
T 0	23	B	5.1	0.384	0.194	0.386	0.202	3	0.9	2.6			
T 0	23	C	5.6	0.681	0.169	0.477	0.144	1	23.9	23.9	**20.4**	**3.9**	**19.0**
T 0	23	C	5	0.55	0.13	0.406	0.126	1	21.0	21.0			
T 0	23	C	5.3	0.539	0.127	0.438	0.141	1	16.2	16.2			
T 0	23	D	5.1	0.432	0.098	0.337	0.117	2	16.7	33.5	**29.8**	**3.3**	**10.9**
T 0	23	D	5.2	0.419	0.097	0.37	0.143	2	13.7	27.3			
T 0	23	D	5.1	0.422	0.103	0.34	0.118	2	14.2	28.5			
T 0	23	E	5.3	0.294	0.053	0.207	0.047	3	11.4	34.3	**28.1**	**5.4**	**9.0**
T 0	23	E	5.3	0.256	0.042	0.188	0.035	3	8.6	25.8			
T 0	23	E	5	0.24	0.035	0.184	0.033	3	8.1	24.3			
T 0	23	F	5.2	0.28	0.053	0.263	0.061	3	3.6	10.8	**10.9**	**0.4**	**9.6**
T 0	23	F	5.5	0.317	0.066	0.29	0.067	3	3.8	11.4			
T 0	23	F	5.1	0.284	0.064	0.243	0.047	3	3.5	10.6			
T 1	23	A	4.9	0.121	0.044	0.352	0.145	4	-19.9	-79.4	-22.8	52.2	-228.6
T 1	23	A	5	0.303	0.11	0.348	0.134	4	-3.1	-12.6			
T 1	23	A	5.1	0.396	0.14	0.348	0.132	4	5.9	23.5			
T 1	23	B	5	0.273	0.139	0.31	0.161	4	-2.2	-9.0	-9.1	1.4	-15.3
T 1	23	B	5	0.265	0.142	0.266	0.13	4	-1.9	-7.8			
T 1	23	B	5.1	0.299	0.162	0.351	0.196	4	-2.6	-10.6			
T 1	23	C	5	0.371	0.142	0.181	0.051	1	14.8	14.8	**16.1**	**3.3**	**20.6**
T 1	23	C	5	0.385	0.12	0.178	0.046	1	19.9	19.9			
T 1	23	C	5.1	0.338	0.109	0.196	0.06	1	13.6	13.6			
T 1	23	D	5	0.487	0.151	0.355	0.122	2	15.4	30.8	32.6	2.2	6.6
T 1	23	D	5.3	0.496	0.14	0.341	0.109	2	17.5	35.0			
T 1	23	D	5	0.465	0.142	0.312	0.096	2	16.0	32.0			
T 1	23	E	5.1	0.33	0.104	0.27	0.101	3	8.4	25.1	**28.4**	**3.7**	**7.2**
T 1	23	E	5.1	0.367	0.116	0.299	0.111	3	9.2	27.7			
T 1	23	E	5	0.348	0.111	0.261	0.096	3	10.8	32.3			
T 1	23	F	5.1	0.372	0.118	0.352	0.118	3	2.9	8.8	**9.3**	**2.2**	**13.0**
T 1	23	F	5	0.374	0.115	0.357	0.124	3	3.9	11.7			
T 1	23	F	5.2	0.382	0.118	0.372	0.125	3	2.4	7.3			
T2	23	C	4.9	0.172	0.044	0.132	0.036	4	4.9	19.6	**17.2**	**3.7**	**21.6**
T2	23	C	5	0.17	0.04	0.135	0.037	4	4.8	19.2			
T2	23	C	5.1	0.172	0.042	0.164	0.056	4	3.2	12.9			
T2	23	D	5.2	0.212	0.0067	0.163	0.057	5	14.3		**27.3**	**2.9**	**10.8**
T2	23	D	5.1	0.213	0.067	0.152	0.046	5	5.9	29.4			
T2	23	D	4.9	0.187	0.054	0.141	0.041	5	5.0	25.2			
T2	23	E	5.1	0.346	0.105	0.263	0.099	3	11.3	33.9	**29.4**	**4.1**	**7.5**
T2	23	E	5.1	0.336	0.108	0.253	0.089	3	9.4	28.2			
T2	23	E	5	0.331	0.105	0.262	0.094	3	8.7	26.0			
T2	23	F	5	0.353	0.114	0.309	0.102	3	4.8	14.4	**16.8**	**2.1**	**8.1**
T2	23	F	5	0.391	0.124	0.363	0.135	3	5.8	17.5			
T2	23	F	5	0.394	0.124	0.347	0.118	3	6.1	18.4			
T3	23	C	5.2	0.169	0.041	0.154	0.054	4	4.0	16.1	**12.0**	**3.6**	**12.0**
T3	23	C	5	0.164	0.053	0.145	0.05	4	2.4	9.6			
T3	23	C	5	0.177	0.054	0.181	0.075	4	2.5	10.2			
T3	23	D	5	0.165	0.04	0.164	0.067	5	4.2	21.0	**22.6**	**2.3**	**6.7**
T3	23	D	5.1	0.198	0.072	0.179	0.086	5	4.8	24.2			
T3	23	D	5	0.167	0.056	0.184	0.093	5	3.0				
T3	23	E	5	0.26	0.085	0.224	0.086	4	5.5	22.2	**24.0**	**2.6**	**6.8**
T3	23	E	5	0.264	0.084	0.205	0.063	4	5.7	22.8			
T3	23	E	5	0.278	0.089	0.228	0.084	4	6.7	26.9			
T3	23	F	4.9	0.282	0.076	0.265	0.077	4	2.7	11.0	**14.5**	**3.1**	**10.0**
T3	23	F	5.3	0.312	0.101	0.248	0.067	4	4.2	16.9			
T3	23	F	5	0.292	0.088	0.247	0.069	4	3.9	15.6			
T4	23	C	5	0.153	0.036	0.116	0.03	4	4.6	18.6	**19.0**	**0.3**	**5.6**
T4	23	C	5	0.157	0.036	0.127	0.038	4	4.8	19.2			
T4	23	C	5	0.161	0.039	0.125	0.035	4	4.8	19.2			
T4	23	D	2.5	0.169	0.046	0.124	0.038	2.5	11.1	27.7	**27.7**	**0.0**	**3.6**
T4	23	D	2.5	0.164	0.043	0.123	0.039	2.5	11.1	27.7			
T4	23	E	4.9	0.214	0.07	0.18	0.065	5	4.4	22.1	**20.4**	**1.6**	**6.5**
T4	23	E	4.9	0.202	0.061	0.177	0.061	5	3.8	19.1			
T4	23	E	4.9	0.202	0.058	0.18	0.062	5	4.0	19.9			
T4	23	F	5.4	0.248	0.078	0.219	0.068	5	2.6	13.2	**15.2**	**1.7**	**8.3**
T4	23	F	5.1	0.244	0.079	0.214	0.071	5	3.2	16.1			
T4	23	F	5.1	0.241	0.073	0.217	0.071	5	3.2	16.1			

Tabla 2. Datos obtenidos experimentalmente en las diferentes mieles almacenadas a 40 °C.

TIEMPO	TEMPERATURA	TIPO DE MIEL	PESO	MUESTRA ABS 284	MUESTRA ABS 336	REFERENCIA ABS 284	REFERENCIA ABS 336	X DISOLUCIÓN	HMF disol	HMF mues	promedio	SD	CV
T 0	40	A	5	0.46	0.173	0.52	0.204	3	-4.3	-13.0	-10.2	4.7	-46.2
T 0	40	A	5.1	0.436	0.164	0.503	0.202	3	-4.3	-12.8			
T 0	40	A	5.2	0.469	0.177	0.507	0.204	3	-1.6	-4.8			
T 0	40	B	5	0.392	0.205	0.418	0.218	3	-1.9	-5.8	-5.3	7.7	-145.0
T 0	40	B	5.3	0.382	0.194	0.451	0.233	3	-4.2	-12.7			
T 0	40	B	5.1	0.384	0.194	0.386	0.202	3	0.9	2.6			
T 0	40	C	5.6	0.681	0.169	0.477	0.144	1	23.9	23.9	**20.4**	**3.9**	**19.0**
T 0	40	C	5	0.55	0.13	0.406	0.126	1	21.0	21.0			
T 0	40	C	5.3	0.539	0.127	0.438	0.141	1	16.2	16.2			
T 0	40	D	5.1	0.432	0.098	0.337	0.117	2	16.7	33.5	**29.8**	**3.3**	**10.9**
T 0	40	D	5.2	0.419	0.097	0.37	0.143	2	13.7	27.3			
T 0	40	D	5.1	0.422	0.103	0.34	0.118	2	14.2	28.5			
T 0	40	E	5.3	0.294	0.053	0.207	0.047	3	11.4	34.3	**28.1**	**5.4**	**9.0**
T 0	40	E	5.3	0.256	0.042	0.188	0.035	3	8.6	25.8			
T 0	40	E	5	0.24	0.035	0.184	0.033	3	8.1	24.3			
T 0	40	F	5.2	0.28	0.053	0.263	0.061	3	3.6	10.8	**10.9**	**0.4**	**9.6**
T 0	40	F	5.5	0.317	0.066	0.29	0.067	3	3.8	11.4			
T 0	40	F	5.1	0.284	0.064	0.243	0.047	3	3.5	10.6			
T 1	40	A	5.1	0.415	0.151	0.44	0.16	4	-2.3	-9.4	-56.7	63.6	-112.1
T 1	40	A	4.9	0.489	0.471	0.358	0.129	4	-32.2	-128.9			
T 1	40	A	5.1	0.351	0.127	0.43	0.152	4	-7.9	-31.7			
T 1	40	B	5	0.53	0.334	0.326	0.159	4	4.3	17.4	5.3	12.7	238.0
T 1	40	B	5	0.462	0.274	0.337	0.16	4	1.6	6.6			
T 1	40	B	4.9	0.402	0.212	0.386	0.183	4	-2.0	-7.9			
T 1	40	C	5.1	0.377	0.184	0.242	0.102	3	7.8	23.3	**24.9**	**6.6**	**26.3**
T 1	40	C	5	0.391	0.195	0.243	0.09	3	6.4	19.3			
T 1	40	C	5.1	0.31	0.075	0.252	0.09	3	10.7	32.1			
T 1	40	D	5	0.323	0.088	0.26	0.094	3	10.3	31.0	**32.9**	**2.3**	**7.0**
T 1	40	D	5	0.342	0.104	0.228	0.069	3	11.8	35.5			
T 1	40	D	5	0.389	0.113	0.354	0.15	3	10.8	32.3			
T 1	40	E	4.9	0.292	0.097	0.212	0.076	4	9.0	36.1	**33.6**	**3.2**	**6.2**
T 1	40	E	5	0.275	0.082	0.203	0.068	4	8.7	34.7			
T 1	40	E	5.1	0.277	0.078	0.23	0.082	4	7.5	29.9			
T 1	40	F	5.1	0.356	0.128	0.278	0.09	4	5.9	23.5	**22.4**	**0.9**	**5.4**
T 1	40	F	5.3	0.38	0.134	0.313	0.106	4	5.5	22.0			
T 1	40	F	5.1	0.328	0.111	0.27	0.09	4	5.4	21.7			
T2	40	C	5	0.163	0.035	0.131	0.036	5	4.9	24.7	**27.0**	**2.0**	**7.5**
T2	40	C	5	0.172	0.039	0.131	0.036	5	5.7	28.4			
T2	40	C	5.1	0.174	0.038	0.135	0.037	5	5.6	27.9			
T2	40	D	5	0.364	0.112	0.218	0.079	5	16.9		**43.7**	**2.6**	**5.9**
T2	40	D	5.1	0.261	0.078	0.183	0.062	5	9.1	45.5			
T2	40	D	5.1	0.25	0.074	0.175	0.056	5	8.4	41.8			
T2	40	E	5.2	0.209	0.061	0.18	0.065	6	4.8	28.5	**34.1**	**5.5**	**8.4**
T2	40	E	5	0.218	0.074	0.163	0.057	6	5.7	34.1			
T2	40	E	5	0.213	0.062	0.16	0.053	6	6.6	39.5			
T2	40	F	5.1	0.215	0.064	0.187	0.061	6	3.7	22.0	**24.1**	**2.0**	**6.2**
T2	40	F	5	0.225	0.066	0.192	0.062	6	4.3	26.0			
T2	40	F	5	0.227	0.069	0.193	0.062	6	4.0	24.3			
T3	40	C	5	0.229	0.11	0.15	0.067	6	5.4	32.3	**30.8**	**2.5**	**8.2**
T3	40	C	4.9	0.244	0.116	0.181	0.088	6	5.3	32.1			
T3	40	C	5	0.223	0.104	0.155	0.067	6	4.6	27.8			
T3	40	D	5.3	0.164	0.037	0.132	0.048	7	6.1	42.5	**37.6**	**4.3**	**11.4**
T3	40	D	5.4	0.16	0.035	0.152	0.063	7	5.0	34.9			
T3	40	D	4.9	0.201	0.078	0.155	0.065	7	5.0	35.3			
T3	40	E	5.3	0.211	0.057	0.162	0.054	7	6.5	45.5	**47.7**	**2.5**	**4.6**
T3	40	E	5	0.199	0.053	0.155	0.054	7	6.7	47.2			
T3	40	E	5.4	0.225	0.06	0.168	0.055	7	7.2	50.5			
T3	40	F	5.1	0.243	0.072	0.196	0.063	7	5.6	39.0	**30.6**	**8.5**	**11.8**
T3	40	F	5.1	0.237	0.066	0.208	0.067	7	4.4	30.8			
T3	40	F	5.7	0.235	0.066	0.21	0.065	7	3.2	22.1			
T4	40	C	5.1	0.122	0.026	0.088	0.025	7	4.8	33.9	**35.4**	**3.9**	**11.0**
T4	40	C	5	0.125	0.024	0.086	0.023	7	5.7	39.8			
T4	40	C	5	0.115	0.022	0.084	0.022	7	4.6	32.5			
T4	40	D	5	0.166	0.034	0.144	0.055	7	6.4	45.1	**49.3**	**3.8**	**7.7**
T4	40	D	5	0.168	0.033	0.127	0.04	7	7.2	50.3			
T4	40	D	5	0.179	0.043	0.122	0.036	7	7.5	52.4			
T4	40	E	5	0.186	0.048	0.147	0.049	7	6.0	41.9	**41.0**	**0.9**	**3.4**
T4	40	E	5.1	0.186	0.049	0.149	0.051	7	5.7	40.1			
T4	40	E	5	0.185	0.051	0.144	0.049	7	5.8	40.9			
T4	40	F	5.1	0.237	0.075	0.19	0.064	7	5.3	37.0	**40.7**	**3.2**	**5.7**
T4	40	F	5.1	0.238	0.065	0.198	0.066	7	6.0	42.1			
T4	40	F	5	0.238	0.067	0.193	0.063	7	6.1	43.0			
T5	40	C	5	0.147	0.03	0.096	0.022	7	6.4	45.1	**41.1**	**3.5**	**8.5**
T5	40	C	5.2	0.134	0.023	0.094	0.021	7	5.5	38.3			
T5	40	C	5.1	0.14	0.025	0.101	0.025	7	5.7	40.1			
T5	40	D	5	0.2	0.045	0.117	0.031	7	10.3	72.3	**70.9**	**4.4**	**5.8**
T5	40	D	5	0.195	0.038	0.125	0.039	7	10.6	74.4			
T5	40	D	5	0.185	0.035	0.122	0.035	7	9.4	66.0			

A continuación, realizamos un gráfico de barras para ver cómo evoluciona el promedio de la concentración de HMF en los diferentes tipos de miel (C, D, E, F) a una temperatura de 23°C, en función del tiempo de almacenamiento (Figura 4).

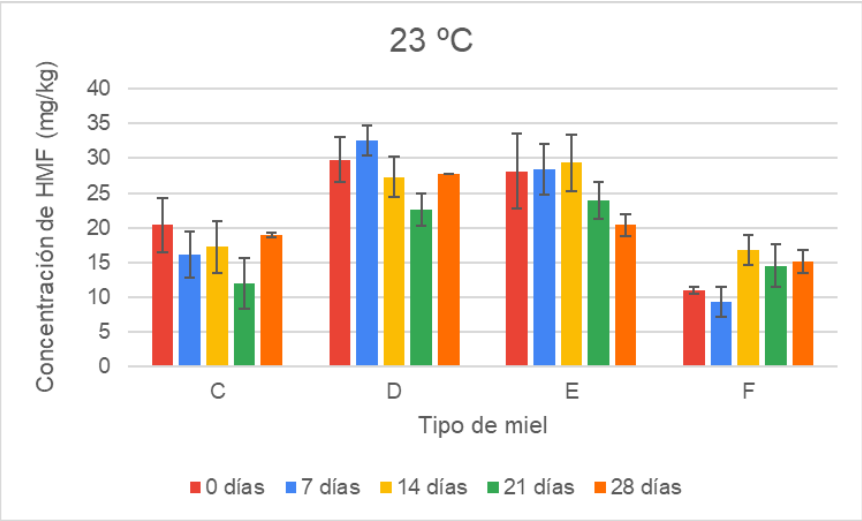


Figura 4. Evolución del contenido en HMF de las muestras de miel almacenadas a temperatura ambiente a lo largo de 4 semanas.

- Miel C: Presenta valores relativamente estables a lo largo del tiempo, con una concentración promedio de 16,9 mg/kg.

- Miel D: Igualmente registra una concentración de HMF bastante estable en el tiempo, con una concentración promedio de 28,5 mg/kg.

- Miel E: La muestra presenta una concentración bastante estable en el tiempo con una concentración promedio de 26 mg/kg si bien en el último tiempo disminuye ligeramente a los 20 mg/kg, posiblemente a un pequeño error a la hora de procesar la muestra puesto que el contenido de HMF no puede disminuir.

- Miel F: Mantiene los valores más bajos de HMF a tiempo cero en comparación con las demás muestras, con valores próximos a 10 mg/kg, sin embargo, a partir de los 14 días el contenido de HMF aumenta ligeramente hasta los 15 mg/kg. Este ligero aumento puede deberse al proceso natural de envejecimiento de la miel.

En general, a temperatura ambiente (23 °C), el contenido de HMF no cambia de forma brusca, pero en la miel F sí que se nota que va aumentando poco a poco con el paso del tiempo. Esto nos hace pensar que, aunque guardar la miel a temperatura ambiente es bastante seguro, hay tipos de miel que pueden ser más sensibles a la degradación según su origen o composición.

La siguiente gráfica muestra el aumento del contenido en HMF cuando las mieles se almacenaron a una temperatura de 40 °C (Figura 5). En comparación con la gráfica anterior (23°C), se observa un incremento notable en los valores de HMF, lo que confirma que el calor acelera la degradación de la miel.

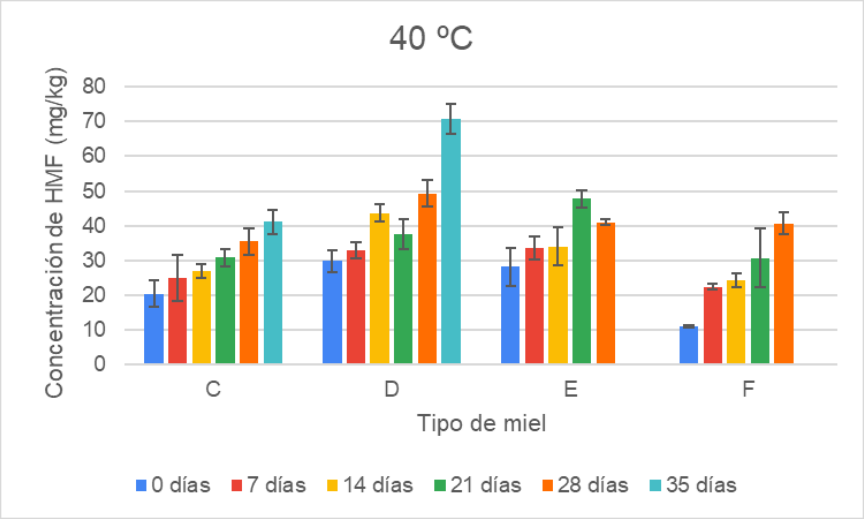


Figura 5. Evolución del contenido en HMF de las muestras de miel almacenadas a 40 °C a lo largo de 5 semanas.

- Miel C: Presenta un aumento progresivo del HMF con el tiempo. Aunque los valores iniciales son bajos (20 mg/kg), a los 35 días de almacenamiento se superan los 40 mg/kg,

lo que sugiere una degradación significativa de la miel y se compromete la seguridad alimentaria.

- Miel D: Muestra un comportamiento preocupante, con una concentración muy alta de HMF a los 35 días (71 mg/kg). Esto indica que esta miel es especialmente sensible al calentamiento y desarrolla rápidamente HMF cuando se expone a 40 °C. Esta miel no sería apta para consumo tras ser almacenada durante 14 días a 40 °C.

- Miel E: También presenta un aumento considerable, aunque de manera más gradual. A los 21 días de almacenamiento los valores obtenidos ya superan los 40 mg/kg, indicando que su consumo ya no es recomendable.

- Miel F: Aunque inicialmente tenía valores bajos (10 mg/Kg), la concentración aumenta rápidamente con el tiempo y tras un mes de almacenamiento a 40 °C los valores rondan los 40 mg/kg.

Como queríamos analizar cómo el calor afecta a la concentración de 5-hidroximetilfurfural (HMF) a lo largo del tiempo. Para ello, no sólo observamos los datos en diagramas de barras, sino que también aplicamos una recta de regresión para identificar y cuantificar la relación entre el tiempo de exposición y la acumulación de HMF.

La regresión lineal nos permite:

- Determinar si existe una relación matemática entre el tiempo y el HMF.

- Predecir valores futuros, es decir, estimar cuánto aumentará el HMF si la miel sigue expuesta al calor.

- Cuantificar el impacto del tiempo, midiendo cuánto incrementa el HMF por cada minuto de exposición.

- Evaluar la fiabilidad de la tendencia observada, mediante el coeficiente de determinación R^2, que nos indica si el modelo es preciso.

El análisis de regresión de los datos de HMF en diferentes tipos de miel revela que el comportamiento de este compuesto varía según la muestra y las condiciones de almacenamiento. Tal y como se muestra en la Figura 6, en la mayoría de los casos, el contenido de HMF se mantiene en el tiempo. Sin embargo, en la miel F se observa un aumento progresivo del HMF, aunque el grado de ajuste es bajo (con un coeficiente de regresión lineal (R^2) inferior a 0.5). Estos resultados sugieren que la evolución del HMF no solo depende del tiempo y la temperatura, sino también de factores intrínsecos de cada tipo de miel, como su composición inicial y su estabilidad química.

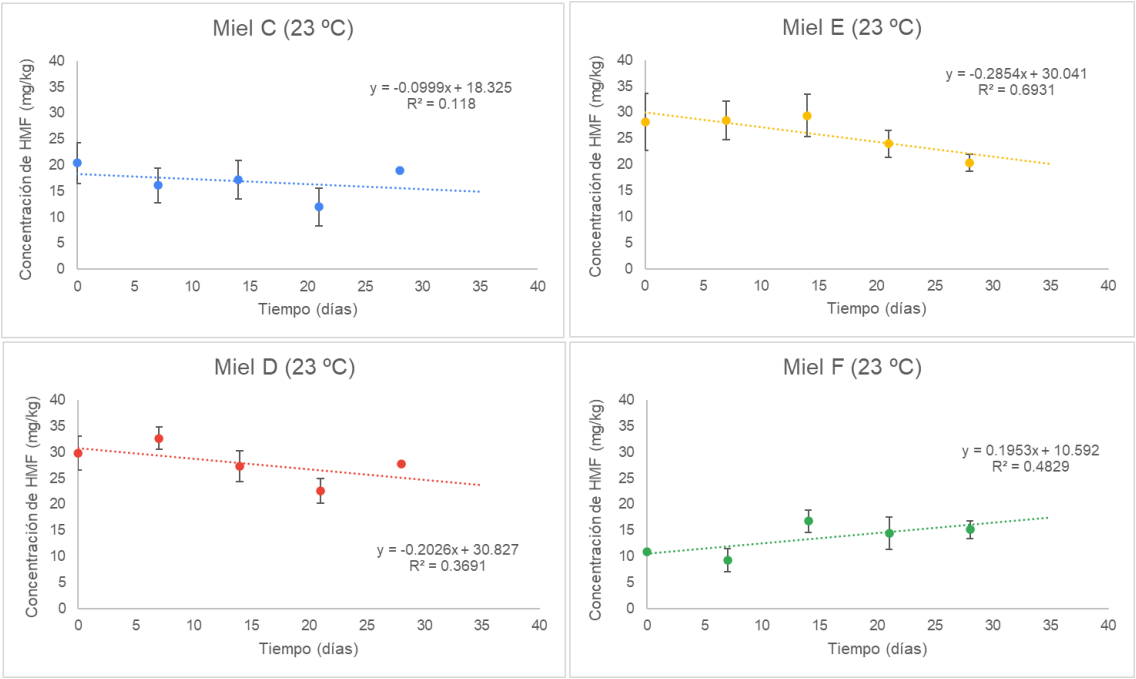


Figura 6. Rectas de regresión obtenidas para la evolución del contenido en HMF de las muestras de miel almacenadas a temperatura ambiente.

Las gráficas de la Figura 7 muestran cómo cambia la cantidad de HMF en cuatro muestras de miel (C, D, E y F) cuando se almacenan a 40 °C durante varias semanas. Todas las gráficas tienen una línea de tendencia, que sirve para ver si el HMF sube o baja con el tiempo, y un valor de R^2, que indica si esa línea representa bien los datos.

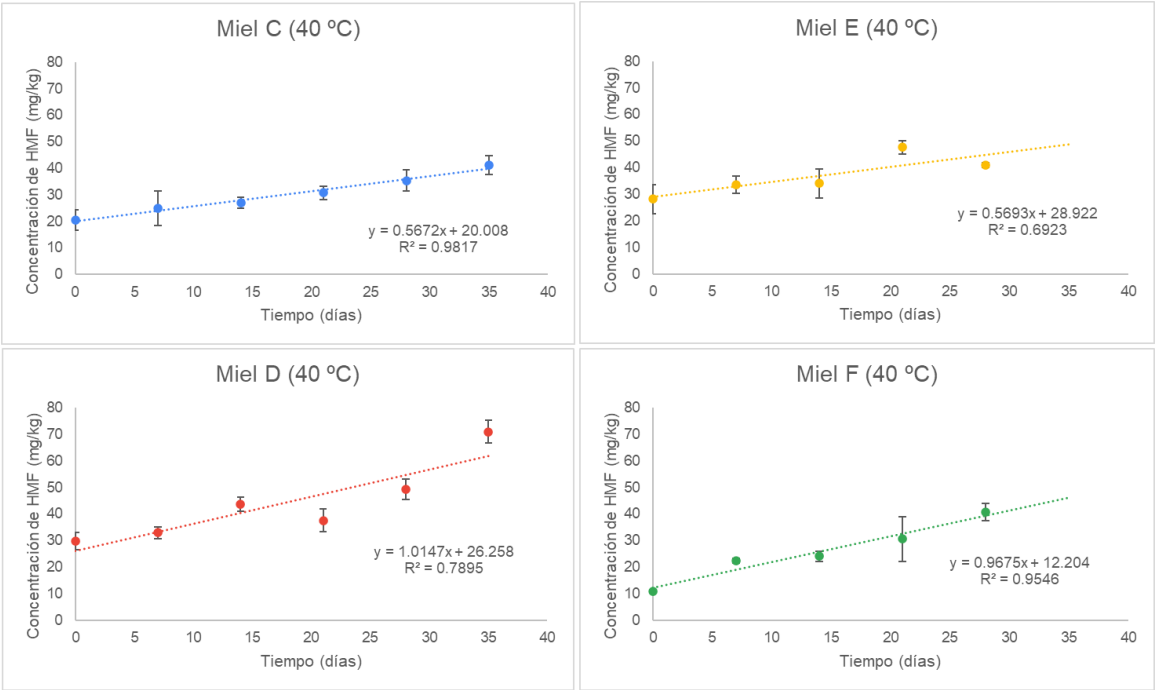


Figura 7. Rectas de regresión obtenidas para la evolución del contenido en HMF de las muestras de miel almacenadas a 40 °C.

A diferencia de lo que pasaba con las muestras a temperatura ambiente, aquí se ve que en todas las mieles el HMF aumenta con el tiempo de almacenamiento, algo que esperábamos, ya que el calor hace que el HMF se forme más rápido. Además, los valores de R^2 son bastante altos, lo que quiere decir que los valores experimentales siguen un comportamiento lineal.

- En la muestra C el HMF va subiendo poco a poco (con una pendiente de 0,57) y el ajuste es muy bueno (R^2 = 0,98). Esto indica que el comportamiento es lineal.

- La muestra D es la que sube más rápido, con una pendiente más pronunciada (1,01) y mostrando un comportamiento bastante lineal (R^2 de 0,79).

- La muestra E presenta un comportamiento muy similar a la muestra C (con una pendiente de 0,57) aunque con un grado de ajuste menor (R^2 es de 0,69).

- La muestra F presenta un comportamiento muy similar a la muestra D (con una pendiente de 0,97) pero con un grado de ajuste mayor (R^2 es de 0,95), lo que indica que los datos están muy bien alineados con la línea de tendencia

Por ejemplo, si escogemos la miel C, cuya recta de regresión es

$$y = 0.5672x + 20.008$$

y cambiamos la x por 90 días (3 meses), observamos que: $y = 0.5672 \cdot 90 + 20.008 = 71.056$, pero si la miel está almacenada incorrectamente durante un año (365 días),

$y = 0.5672 \cdot 365 + 20.008 = 227.036$, lo que cuadruplica los límites de HMF permitidos.

En resumen, estas gráficas confirman que cuando la miel se guarda a 40 °C el HMF aumenta bastante, y que todas las muestras siguen un patrón lineal parecido, aunque en unas mieles el contenido de HMF aumenta más rápido que en otras. Esto demuestra que la temperatura influye mucho en la calidad de la miel y que, si se guarda mal, puede perder sus propiedades en poco tiempo y resultar peligrosa para nuestra salud.

Este análisis nos ha permitido comprobar que el contenido de HMF es un buen indicador del estado de la miel y que la temperatura influye de forma directa en su calidad. La diferencia entre los valores a temperatura ambiente y a 40 °C fue significativa, por lo que se puede afirmar que el almacenamiento inadecuado puede reducir la frescura de la miel, incluso si esta no presenta cambios visibles.

5. CONCLUSIONES GENERALES

Después de realizar este proyecto, llegamos a varias conclusiones importantes:

- El contenido de HMF (5-hidroximetilfurfural) en la miel aumenta de forma clara cuando se expone a temperaturas elevadas, lo que demuestra que el calor afecta directamente a su calidad. Esta subida fue mucho más evidente en las muestras almacenadas a 40 °C que en las que se mantuvieron a temperatura ambiente.

- Todas las muestras conservadas a temperatura ambiente cumplen con los requisitos de calidad que marca la legislación (Real Decreto 1049/2003) para este compuesto tóxico (menos de 40 mg/kg).

- Prácticamente todas las muestras almacenadas a 40 °C superan el límite legal (40 mg/kg) tras un mes de almacenamiento, aunque este tiempo puede verse reducido en aquellas mieles que a tiempo cero ya mostraban un mayor contenido en HMF (mieles D y E).

- El análisis del HMF se mostró como una herramienta útil, sencilla y bastante precisa para evaluar el estado de la miel. Incluso cuando la miel tiene buen aspecto por fuera, este tipo de análisis permite detectar si está deteriorada por dentro.

Además, esta experiencia nos ayudó a aprender a trabajar en el laboratorio, seguir un procedimiento científico paso a paso y comprender cómo se puede estudiar la calidad de un alimento en condiciones reales. La colaboración con las profesoras de la universidad fue clave para poder llevar a cabo esta parte experimental.

6. POSIBLES MEJORAS DE CARA A TRABAJOS FUTUROS

Si en el futuro se repitiera este experimento o se quisiera ampliar, proponemos algunas ideas para mejorarlo:

- Trabajar con más tipos de miel, incluyendo variedades de diferentes zonas geográficas o con distinto origen floral, para hacer una comparativa más completa.

- Probar con otras temperaturas además de la ambiente y los 40 °C, por ejemplo 30 °C o 50 °C, para ver cómo varía la formación de HMF dependiendo del calor. Podría ser incluso interesante evaluar temperaturas inferiores a los 23 °C (7 y 13 °C).

- Analizar el HMF en otros alimentos que contienen azúcares de forma natural, como mermeladas o zumos, para ver si ocurre un efecto similar.

7. CONSEJOS PARA CONSERVAR LA MIEL EN CASA

Gracias a todo lo aprendido en este proyecto, creemos que es importante compartir algunos consejos sencillos para almacenar la miel correctamente en casa y conservar su calidad:

- Guardar la miel en un lugar fresco y seco, lejos de fuentes de calor como estufas, radiadores o la parte superior de la nevera o la cocina.

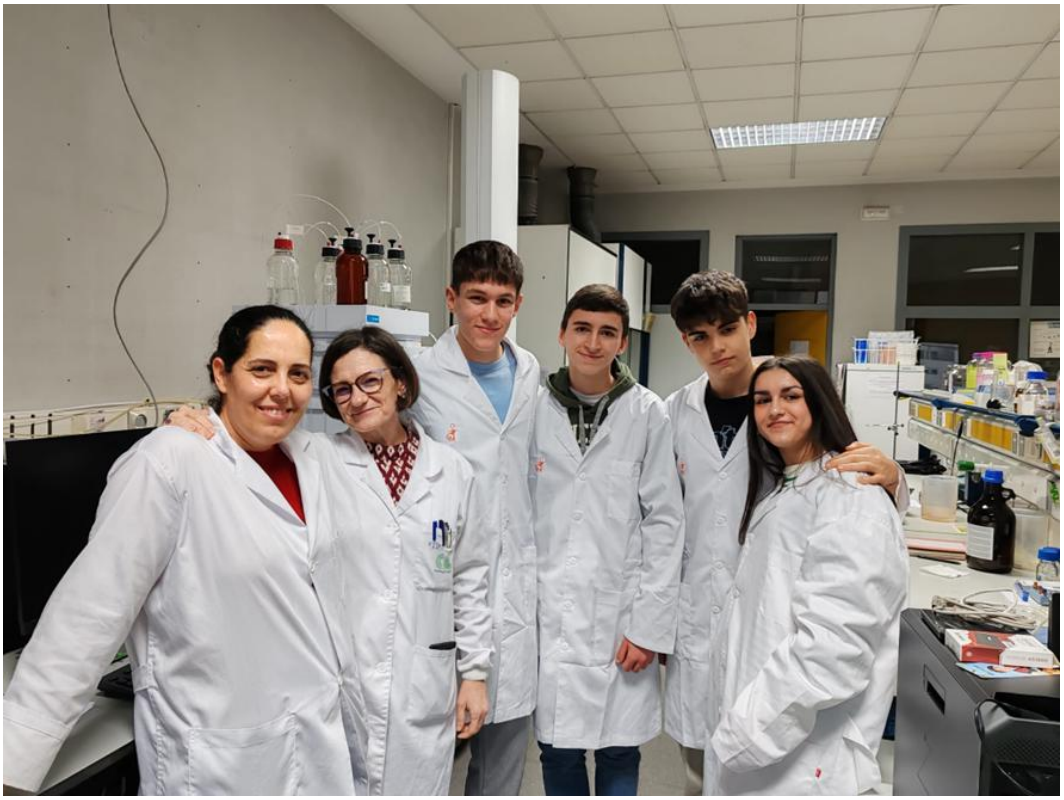
- Evitar la exposición directa al sol o a temperaturas altas, ya que esto acelera la formación de HMF y puede afectar a su color y propiedades.

- Mantener el tarro bien cerrado, para que no pierda humedad y se deshidrate de forma natural generando HMF.

- Si se cristaliza, nunca calentarla directamente al fuego o en el microondas. Lo mejor es colocar el tarro al baño maría con agua templada, sin sobrepasar los 40 °C.

8. AGRADECIMIENTOS

Queremos dar las gracias, en primer lugar, a nuestra profesora de matemáticas, por habernos animado a participar en este concurso y por ayudarnos en todo momento a organizar el proyecto y a no rendirnos cuando algo no salía a la primera. También agradecemos especialmente la colaboración de las dos profesoras de la universidad, Raquel Rial y Beatriz Cancho, que nos dejaron realizar estos análisis en su laboratorio, nos enseñaron a hacer el análisis del HMF y resolvieron todas nuestras dudas con mucha paciencia. Sin su ayuda, esta parte del trabajo no habría sido posible.



9. BIBLIOGRAFÍA

- Real Decreto 1049/2003, de 1 de agosto, por el que se aprueba la norma de calidad relativa a la miel. Boletín Oficial del Estado (BOE), nº 188, 7 de agosto de 2003. Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/08/01/1049

- HuffPost (2024). Un apicultor alerta del error más común al guardar la miel en casa. Disponible en: https://www.huffingtonpost.es/sociedad/un-apicultor-pide-guardar-miel-sitio-mas-comun-se-vuelve-edulcorante-inutil.html?utm_source=chatgpt.com

- Ministerio de Interior(2024). Desmantelan en Valencia una red que distribuía miel adulterada con pesticidas.
  Recuperado de:
  https://www.interior.gob.es/opencms/en/detail-pages/article/Investigadas-11-personas-por-comercializar-mas-de-40-toneladas-de-miel-ecologica-contaminada-con-pesticidas-procedente-de-China/
  Recuperardo de ABC Valencia:
  https://www.abc.es/espana/comunidad-valenciana/investigan-personas-vender-miel-ecologica-pesticidas-procedente-20240803111122-vi.html

- IXP Mel de Galicia. Consello Regulador da Indicación Xeográfica Protexida Mel de Galicia. Disponible en: https://www.meldegalicia.gal