

Revista Brasileira de Ciências Exatas

Data de aceite: 14/08/2025

OBTENCIÓN DE UN PIRROL A PARTIR DE UN CARBOHIDRATO Y UNA AMINA ALIFÁTICA, MEDIANTE LA REACCIÓN DE MAILLARD, EN LA ASIGNATURA QUÍMICA ORGÁNICA III (1628) DE LA CARRERA QUÍMICA DE ALIMENTOS

Eva Florencia Lejarazo Gómez

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Química, División de Estudios
de Posgrado, Departamento de Química
Orgánica.
Circuito. Exterior S/N, Ciudad Universitaria.

Issac Daniel Ibarra San German

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Química, División de Estudios
de Posgrado, Departamento de Química
Orgánica.
Circuito. Exterior S/N, Ciudad Universitaria.

Fernando León Cedeño

Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Química, División de Estudios
de Posgrado, Departamento de Química
Orgánica.
Circuito. Exterior S/N, Ciudad Universitaria

Todo o conteúdo desta revista está
licenciado sob a Licença Creative
Commons Atribuição 4.0 Interna-
cional (CC BY 4.0).



Resumo: A reação de Maillard consiste em um conjunto de interações entre um açúcar redutor e um grupo amino (que pode vir de aminoácidos, peptídeos ou proteínas). Esta reação ocorre durante o cozimento dos alimentos. A reação de Maillard é de extrema importância, pois graças a ela são gerados aromas, sabores e pigmentos que fazem parte das características dos alimentos cozidos.

Neste trabalho apresentamos os resultados que obtivemos ao desenvolver uma experiência que ilustra a formação de pirróis a partir da reação de dois hidratos de carbono, glicose ou frutose, com duas aminas primárias: benzilamina ou *n*-butilamina, para ilustrar a reação de Maillard aos alunos do curso de Química Alimentar ministrado nesta Faculdade, na disciplina de Química Orgânica III (chave 1628) que é ministrada no 6º ano. semestre desta licenciatura. Foram utilizadas duas fontes de aquecimento, convencional utilizando grelha de aquecimento para aquecimento sob refluxo, ou radiação micro-ondas utilizando reator micro-ondas. Os produtos obtidos foram 1-*n*-butil-2-carboxaldeído-5-hidroxi metilpirrol ou 1-benzil-2-carboxaldeído-5-hidroxi metilpirrol, os quais foram caracterizados com base em suas propriedades espectroscópicas.

Palavras-chave: Reação de Maillard, pirróis, carboidratos, aminas primárias, curso de química heterocíclica.

INTRODUCCIÓN

La reacción de Maillard consiste en un conjunto de interacciones que se generan en la reacción entre un azúcar reductor y un grupo amino (el cual puede provenir de aminoácidos, péptidos, proteínas). Esta reacción se lleva a cabo durante la cocción de los alimentos. Gracias a esta reacción se generan aromas, sabores y pigmentos que son características de los alimentos cocidos. La aparición de un color marrón de distintas tonalidades, así como

de sabor en los alimentos asociados con los asados, a la plancha o al horno es una característica de esta reacción. La comida cruda tiene poco sabor y no es apetitosa, pero esta se puede convertir en productos deseables después de que haya sido sometida a un tratamiento térmico.[1]

Para ilustrar la reacción de Maillard a los alumnos de la carrera Química de alimentos de la Facultad de Química de esta Universidad, de la materia Química orgánica III clave 1628, se decidió estudiar el comportamiento de dos carbohidratos: glucosa o fructosa con dos aminas primarias, por separado, bencilamina y *n*-butilamina, con la idea de ilustrar esta importante reacción. El producto con glucosa (o fructosa) y bencilamina, fue el 1-bencil-2-carboxaldeído-4-hidroxi metilpirrol, mientras que producto con glucosa (o fructosa) y *n*-butilamina, fue el 1-*n*-butil-2-carboxaldeído-4-hidroxi metilpirrol, Nuestro objetivo fue que el alumno compruebe la formación del pirrol correspondiente a partir de las materias primas ya indicadas, además de verificar si efectivamente las cetosas son más reactivas que las aldosas hacia las aminas primarias.[2], [3]. [4], [5], [6]. Los alumnos de esta materia caracterizan y analizan el espectro del producto obtenido por RMN-¹H y por su punto de fusión. Otro punto importante es que los alumnos de este curso, una parte del grupo llevan a cabo las reacciones bajo calentamiento convencional y la otra parte la llevan utilizando un reactor de microondas, par que empiecen a hacer uso de las técnicas que establecen los doce principios de la química verde. [7]

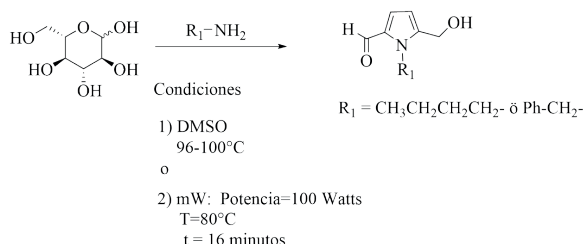
MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los reactivos empleados para la síntesis fueron adquiridos de Sigma-Aldrich. Los productos sintetizados fueron purificados por cromatografía en columna, empleando sílica gel con tamaño de partícula de 60 Å, y como

eluyente mezclas de diclorometano y acetato de etilo. Los productos puros se caracterizaron por espectroscopia de infrarrojo (IR), por sus siglas en inglés, en un Espectrofotómetro FT-IR/FTCIR/Perkin Elmer/ATR Universal. Resolución 4 cm^{-1} , la Resonancia Magnética Nuclear de hidrógeno y carbono (RMN ^1H y ^{13}C) en un espectrofotómetro marca JEOL, modelo: ECZ600R, de 600 MHz en disolución de CDCl_3 . Los desplazamientos químicos están expresados en partes por millón (ppm) y se empleó como referencia interna TMS. Todas las reacciones y etapas de purificación fueron monitoreadas por cromatografía en capa fina (CCF), empleando cromatoplasas de sílica gel Sigma-Aldrich 60 Å , con indicador fluorescente a 250 nm, las cuales fueron reveladas con una lámpara de luz UV y con sulfato cérico amoniacal.

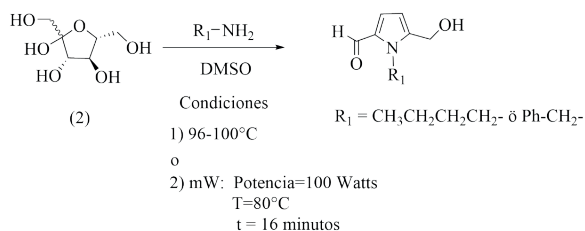
RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

Se llevaron a cabo las siguientes reacciones para ilustrar la reacción de Maillard, glucosa (1) con bencilamina o con *n*-butilamina (Esquema No.1) empleando calentamiento a reflujo o con microondas. Para el calentamiento con microondas se utilizó un reactor de microondas marca CEM, con las siguientes condiciones: Potencia=100 Watts, $T=80^\circ\text{C}$, $t = 16$ minutos.



Esquema No.1. Reacciones efectuadas empleando glucosa y dos aminas primarias. Calentamiento a reflujo o con radiación de microondas

Otro carbohidrato que se probó fue la fructosa, la cual se hizo reaccionar con las mismas aminas, y con los dos tipos de calentamiento (Esquema No.2).



Esquema No.2. Reacciones efectuadas empleando fructosa y dos aminas primarias. Calentamiento a reflujo o con radiación de microondas

En la Tabla No. 1 se muestran los resultados obtenidos cuando se empleó como fuente de calentamiento el tradicional (empleando una parrilla de calentamiento) a una temperatura de 96 a 100 °C, durante 35 minutos.

Carbohidrato	Amina	Rendimiento % producto crudo	Rendimiento% producto puro
Glucosa	<i>n</i> -butilamina	20.0	12.4
Glucosa	Bencilamina	45.0	33.7
Fructosa	<i>n</i> -butilamina	14.7	11.0
Fructosa	Bencilamina	51.2	45.4

Tabla No.1 RESULTADOS CON CALENTAMIENTO A REFLUJO

En la Tabla No. 2. se muestran los resultados obtenidos empleando como fuente de calentamiento microondas, con una potencia de 100 W, temperatura de 80 °C y tiempos de reacción de 16 minutos,

Carbohidrato	Amina	Rendimiento % producto crudo	Rendimiento% producto puro
Glucosa	<i>n</i> -butilamina	19.5	13.1
Glucosa	Bencilamina	61.5	38.7
Fructosa	<i>n</i> -butilamina	34.8	13.0
Fructosa	Bencilamina	74.3	43.1

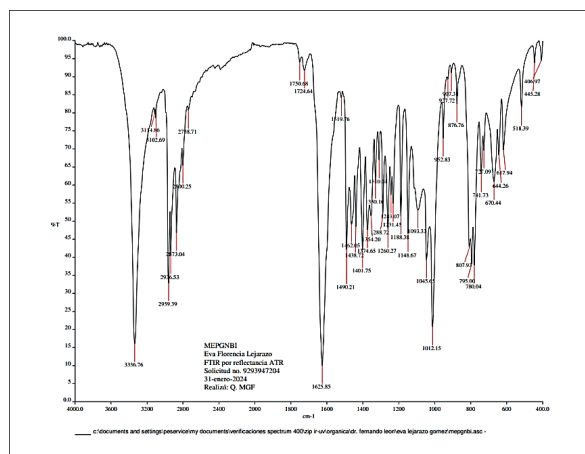
Tabla No.2 RESULTADOS CON CALENTAMIENTO CON MICROONDAS

Como se puede observar en los resultados obtenidos (tablas No. 1 y No. 2), estos son prácticamente los mismos, pero los tiempos de reacción empleando las microondas como fuente de calentamiento son más cortos.

Otro punto importante es que en los casos en los que se utilizó fructosa, se comprobó que los productos crudos y los productos puros, los rendimientos son mayores, sobre todo con la bencilamina y cuando se emplea como fuente de calentamiento las microondas, lo cual está de acuerdo con lo descrito en la literatura.[3]

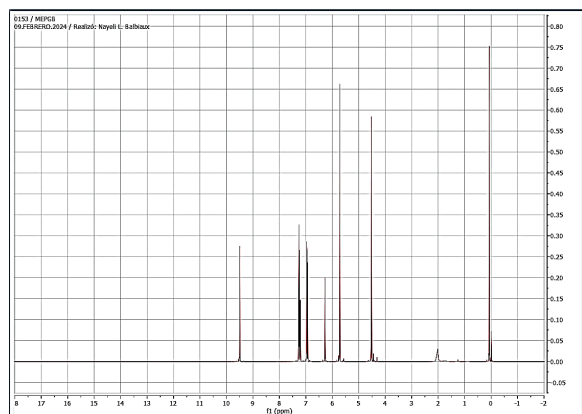
CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS

Como un ejemplo de la caracterización de los productos obtenidos con base en sus propiedades espectroscópicas, se muestran los espectros de IR y de RMN-¹H de la glucosa y la bencilamina, Espectros No.1 y No.2, respectivamente.



Espectro No. 1 Espectro de Infrarrojo (Glucosa con Bencilamina). Espectrofotómetro FT-IR/FTCIR/Perkin Elmer/ATR Universal. Resolución 4 cm⁻¹

Número de onda (cm ⁻¹)	Señal
1460 - 1350	bandas características para anillo aromático
1625.85	banda intensa para carbonilo de aldehído
2959 - 2788	bandas características para C-H saturado
3114.86 - 3102	bandas características para C-H insaturado
3336.76	banda intensa, característica para C-N



Espectro No. 2 Espectro de Resonancia Magnética producto Glucosa con Bencilamina). Equipo de 600 MHz marca JEOL, modelo: ECZ600R.

RMN-¹H, CDCl₃, d (ppm)= 2.0 (s, 1H), 4.5 (s, 2H), 5.7 (s, 2H), 6.3 (s, 1H), 6.9 (d, 3H), 7.3 (t, 3H), 9.5 (s, 1H).

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo la síntesis de los pirroles 2-carboxaldehído-5-hidroximetil-1-alkilpirrol, a partir de la glucosa o fructosa.

Con la fructosa se obtuvieron los mejores rendimientos, corroborando que la fructofuranosa es más reactiva que una glucopirarona.

Se desarrolló una práctica que ilustra la formación de los pirroles a través de la reacción de Maillard entre un carbohidrato y una amina primaria

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación de la DGAPA de la UNAM, Proyecto PAPIME PE201323 “Ejemplos de la reacción de Maillard en un curso de Quí-

mica Orgánica Heterocíclica en Química de alimentos (Química Orgánica III clave 1828), por el apoyo económico otorgado.

REFERENCIAS

- [1] Barham, P.; Leif H. Skibsted, L.H.; Bredie, W.L.P.; Frost, M.B.; Moller, P.; Risbo, J.; Pia Snitkjær, P.; Mortensen, L.M. (2010). Molecular Gastronomy: A New Emerging Scientific Discipline, *Chem. Rev.*, 110, 2313–2365. <http://doi.org/10.1021/cr900105w>
- [2] Erickson, J. G. (1953), Reactions of aliphatic amines with sugars. *J. Am. Chem. Soc.* 75, 11, 2784. <https://doi.org/10.1021/ja01107a524>
- [3] Adhikary, N.D.; Kwon, S.; Chung, W.-J.; Koo, S. (2015). One-Pot Conversion of Carbohydrates into Pyrrole-2-carbaldehydes as Sustainable Platform Chemicals. *J. Org. Chem.*, 80, 7693–7701. <http://doi.org/10.1021/acs.joc.5b01349>
- [4] Golon, A.; Kropf, C.; Vockenroth, I.; Kuhnert, N. (2014). An Investigation of the Complexity of Maillard Reaction Product Profiles from the Thermal Reaction of Amino Acids with Sucrose Using High Resolution Mass Spectrometry; *Foods*, 3, 461-475. <http://doi:10.3390/foods3030461> foods ISSN 2304-8158).
- [5] Alongi, M.; Minetto, G.; Taddei, M. (2005). New pyrrole-based amino acids for the synthesis of peptidomimetic constrained scaffolds, *Tetrahedron Letters*, 46, 7069-7072. <http://doi: 10.1016/j.tetlet.2005.07.155>
- [6] Zhang, Z.; Zhang, J.; Tan, J.; and Wang, Z. (2008). A Facile Access to Pyrroles from Amino Acids via Aza-Wacker Cyclization, *J. Org. Chem.*, 73, 5180–5182. <http://doi.org/10.1021/jo800433b>
- [7] León-Cedeño, F. (2009). Implementación de algunas de las técnicas de la Química Verde (o Química Sustentable) en docencia. *Educación Química*, 20, 441-446.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

El manuscrito se elaboró con la colaboración de todos los autores. Todos ellos aprobaron la versión final del manuscrito.

Eva Florencia Lejarazo Gómez

Investigación ID: 2451924d-425e-4778-9f4c-36c848ca70c2

Issac Daniel Ibarra San German

Metodología ID: f21e2be9-4e38-4ab7-8691-d6f72d5d5843

Fernando León Cedeño

Conceptualización ID: 8b73531f-db56-4914-9502-4cc4d4d8ed73.

Visualización, ID: 76b9d56a-e430-4e0a-84c9-59c11be343ae

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaramos que no existe algún conflicto con el contenido de este artículo