



Abordaje experimental para la enseñanza y el aprendizaje de la reacción de Maillard en química de los alimentos

Experimental approach for teaching and learning the Maillard reaction in food chemistry

Daniela E. Igartúa^{1,2} y Paula Sceni¹

Resumen

El color de los alimentos es uno de los primeros atributos percibidos por el consumidor y se lo asocia con el sabor y el estado de conservación. La reacción de Maillard es un proceso complejo que genera colores en la gama del amarillento hasta marrón oscuro, aromas y sabores, característicos de alimentos cocidos que contienen hidratos de carbono y aminoácidos o proteínas. En este trabajo se analizan posibles abordajes experimentales para la enseñanza y el aprendizaje de la reacción de Maillard, basados en la experiencia en la asignatura Química de los Alimentos. El tema se analizó en forma experimental en dos instancias, la primera con un sistema simplificado (muestras en tubos de ensayos) y la segunda en un sistema real (galletitas dulces). Los efectos estudiados fueron el tipo y concentración de azúcar, el pH, el tiempo y la temperatura de cocción. A partir de los sistemas simplificados, se espera que el estudiantado sea capaz de explicar y justificar los resultados observados considerando la teoría. En el sistema real, el propósito es lograr un aprendizaje que le permita al estudiantado explicar fenómenos de su vida cotidiana. Se propone, además, una tercera actividad, donde puedan poner en práctica los conocimientos y habilidades adquiridas, para resolver experimentalmente un problema integrador, con un protocolo no pautado.

Palabras clave

Reacción de Maillard, alimentos, experimentación, laboratorio.

Abstract

The color of food is one of the first attributes perceived by the consumer and is associated with taste and preservation state. The Maillard reaction is a complex process that generates colors, ranging from yellow to dark brown, aromas, and tastes characteristic of cooked foods containing carbohydrates and amino acids or proteins. This work analyzes possible experimental approaches for teaching and learning the Maillard reaction, based on experience in the Food Chemistry course. The topic was experimentally approached in two instances, the first with a simplified system (samples in test tubes) and the second in a real system (sweet cookies). The studied effects were the type and concentration of sugar, pH, and time and temperature of cooking. From the simplified systems, it is expected that students will be able to explain and justify the observed results considering the theory. In the real system, the purpose is to achieve learning that allows students to explain phenomena of their daily life. In addition, a third activity is proposed, where they can put into practice the knowledge and skills acquired to experimentally solve an integrative problem with a non-standardized protocol.

Keywords

Maillard reactions, food, experimentation, laboratory.

¹ Universidad Nacional de Quilmes, Departamento de Ciencia y Tecnología, Laboratorio de Investigación en Funcionalidad y Tecnología de Alimentos (LIFTA), Roque Sáenz Peña 352, B1876BXD, Bernal, Buenos Aires, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, C1425FQB, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Introducción

Uno de los primeros atributos percibidos por el consumidor es el color del alimento, que se asocia con el sabor y el estado de conservación. Por ejemplo, el color verde, en ciertas frutas como las peras y la banana, nos indica que aún no están maduras y un color amarronado que están oxidadas o demasiado maduras. En las carnes, un color amarronado o verdoso, nos alerta que no están aptas para el consumo. Por otro lado, en las golosinas, el color lo asociamos con el sabor que deben tener.

El color en los alimentos se debe a que contienen moléculas con grupos cromóforos, que son capaces de absorber y emitir radiación en el rango visible de luz (380 a 750 nm). Los principales grupos cromóforos son dobles y triples enlaces carbono-carbono, sistemas aromáticos, grupo carbonilo, imino (C=N), diazo (N=N), nitro y enlaces C-Y (Y es un átomo con pares de electrones libres).

Estas moléculas que aportan color pueden estar presentes en forma natural en los alimentos, como los pigmentos animales y vegetales, pueden ser añadidas, como los colorantes (aditivos), o pueden ser productos de reacciones que se generan durante el procesamiento o el almacenamiento de los alimentos. Dentro de estas reacciones, las más importantes son las reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático que dan como productos diversas sustancias con coloraciones que van desde el amarillento al marrón oscuro. Dentro de las reacciones no enzimáticas se incluyen la reacción de Maillard, las reacciones de caramelización y la oxidación del ácido ascórbico, siendo las primeras dos las más importantes en alimentos.

En este trabajo analizaremos posibles abordajes experimentales para la enseñanza y el aprendizaje de la reacción de Maillard. Particularmente, nuestra experiencia se contextualiza en la asignatura Química de los Alimentos de la carrera Ingeniería en Alimentos de la Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, Argentina.

Química de los alimentos es una asignatura que las personas estudiantes deberían cursar entre el quinto y el sexto cuatrimestre de sus carreras. Los contenidos de la asignatura incluyen el estudio de la estructura y propiedades funcionales de los componentes principales de los alimentos (proteínas, lípidos, hidratos de carbono y agua), el estudio de distintos sistemas alimenticios (soluciones, suspensiones, emulsiones, espumas, geles, sólidos cristalinos y sólidos amorfos), las características de los procesos y sustancias que aportan aroma, sabor y color, y la función de enzimas y aditivos. En la última parte de la asignatura, se aplican todos estos contenidos en el estudio de productos alimenticios (lácteos, cárnicos y derivados de cereales o huevo). El enfoque de la asignatura integra los contenidos teóricos, la práctica experimental y la resolución de problemas de aplicación.

Particularmente, el estudio de la reacción de Maillard se realiza en dos momentos del cuatrimestre. Primeramente, en la unidad temática “Aroma, Sabor y Color”, donde se explican las etapas de la reacción y los factores que modifican su velocidad. Además de la exposición del tema y del material teórico para que el estudiantado profundice los conceptos, se observan en clases fotografías de tubos de ensayos con muestras obtenidas en distintas condiciones y se discuten los resultados. Posteriormente, se retoma el tema en la unidad temática “Cereales y derivados”. En esta segunda instancia, se aplican los conceptos de manera experimental a un producto específico (galletitas dulces).

Es importante mencionar que los objetivos principales de la educación universitaria en carreras científico-tecnológicas son: (a) aprendizaje del contenido científico, que sería adquirido y desarrollado a través del conocimiento conceptual y teórico; (b) aprendizaje de metodologías científicas, que se lograría a través del entendimiento de la naturaleza de los métodos científicos y de la concientización de las complejas interacciones entre la ciencia y la sociedad; y (c) aprendizaje de las actividades científicas, que está relacionado con ganar y desarrollar experticia en indagar y resolver problemas científicos (Diederer, Gruppen, Hartog y Voragen, 2006). Dentro de este contexto universitario, la alfabetización química está compuesta por: (a) entendimiento de las ideas químicas y del lenguaje químico, como la conexión entre un fenómeno macroscópico con la estructura microscópica; (b) aspectos contextuales, como el entendimiento de la relevancia de la química en distintos contextos sociales; (c) aspectos cognitivos, como la habilidad para utilizar habilidades de pensamiento de orden superior (justificación y argumentación); y (d) aspectos afectivos, como la motivación para estudiar química (Avargil, 2019).

Hoy en día, es reconocido que las personas estudiantes necesitan asimilar contenidos académicos de manera significativa y, a la vez, desarrollar habilidades que las lleven a investigar, descubrir y crear su propio aprendizaje. Variedad de autores/as han confirmado que una manera de desarrollar estas habilidades es a través de la experimentación, dado que son instancias desarrolladas en un entorno en donde se debe pensar (crítica y creativamente) e indagar, vinculando la teoría con las observaciones (Berrio, 2009). Además, hoy en día es reconocido que cada vez menos personas sienten interés y motivación por el aprendizaje de contenido científico descontextualizado y abstracto. En este sentido, con el objetivo de motivar el aprendizaje es importante que la enseñanza de la química y, en particular, la experimentación esté contextualizada en sistemas alimentarios y en la experiencia cotidiana de las personas estudiantes. Se considera que si, además de impartir contenidos de forma tradicional, se promueve la integración teórico-práctica mediante la resolución de situaciones problemáticas experimentales similares a las del futuro laboral, se modificará la percepción mencionada, lo que redundará en un contexto de aprendizaje más eficaz (Fernández y Aguado, 2017).

Como docentes, buscamos que las personas estudiantes sean capaces de explicar cambios químicos y físicos que ocurren durante la producción y almacenamiento de los alimentos; y puedan discutir, justificar y argumentar resultados experimentales y proponer soluciones a problemas, utilizando la teoría disponible en la bibliografía y los conocimientos adquiridos en los trabajos prácticos de laboratorio. Debido a esta búsqueda, constantemente estamos actualizando los contenidos y la manera de presentarlos, buscando, diseñando y poniendo a prueba nuevas estrategias de enseñanza que faciliten y motiven el aprendizaje en esta carrera científico-tecnológica. Por lo tanto, en esta asignatura tratamos de resaltar la aplicación de los conocimientos adquiridos a futuro, no solo para su aplicación en las próximas asignaturas de la carrera, sino también para la vida profesional y la vida cotidiana, tratando de evitar que las personas estudiantes dirijan sus esfuerzos hacia un aprendizaje meramente superficial. Por ello, para la mayoría de las unidades temáticas, contamos con trabajos prácticos experimentales de laboratorio. Las ventajas principales son que aumenta la motivación, estimula el pensamiento complejo y la reflexión, dado que cada estudiante se vuelve más activa/o y valorativo de su propio aprendizaje, cuando a través de la investigación, manipula, explora, descubre, inventa y plantea alternativas de solución a problemas e incluso, cuando estudia o escucha el informe o conclusiones de la investigación

de otros (Berrio, 2009). En este sentido, diversas/os autoras/es (Séré, 2002; Diederer, Gruppen, Hartog y Voragen, 2006; Rivera Monroy, 2016; Vargas y De la Barrera, 2021) sugieren que la realización de trabajos prácticos experimentales de laboratorio pueden ayudar a la comprensión y que el aprendizaje conceptual; favorecer la motivación, la iniciativa y la autonomía de las personas estudiantes; ilustrar y concretizar la teoría en un fenómeno experimental real; construir modelos que permiten que la teoría pueda ser asimilada de una manera más efectiva; favorecer la elaboración de conclusiones experimentales y la reflexión; favorecer la reflexión sobre el propio proceso de aprendizaje (metacognición); crear vínculos con vida cotidiana y con la aplicación profesional; desarrollar destrezas y habilidades psicomotoras; y promover el trabajo en equipo.

Reacción de Maillard: contenido teórico

La reacción de Maillard es la responsable de los cambios favorables en el aroma, sabor y color que ocurren durante la cocción del pan o de la carne asada, en la elaboración de dulce de leche o en el tostado de los granos de café y de cacao, pero también puede producir cambios indeseados en el aroma, sabor y color cuando se excede la temperatura y/o el tiempo óptimo de cocción, como los que aparecen cuando una tostada se quema generando colores muy oscuros, sabores amargos y compuestos tóxicos.

La reacción de Maillard es, en realidad, un conjunto de transformaciones muy complejas en las que intervienen hidratos de carbono simples y aminoácidos o proteínas. Cabe destacar que reaccionan principalmente los grupos amino ($-NH_2$) de aminoácidos libres o de proteínas que contengan aminoácidos básicos, pero no los grupos amida del enlace peptídico. El conjunto de transformaciones que conforman la reacción de Maillard se puede dividir en tres etapas (Badui, 2016; Damodaran y Parkin, 2017).

En la **etapa inicial** se producen compuestos sin color y sin absorción en el UV por reacciones que incluyen (a) la condensación del compuesto carbonílico (azúcar) con el grupo amino no ionizado (del aminoácido, residuo de aminoácido o N-terminal de una proteína) para formar aldosaminas y cetosaminas y (b) el reordenamiento de Amadori o Heyns, en donde los productos de condensación sufren reacciones de transposición para dar lugar a los productos sin color.

En la **etapa intermedia** se producen compuestos sin color o con colores claros (amarillos) pero con fuerte absorción en el UV por reacciones que incluyen deshidratación y fragmentación (degradación de Strecker) de los productos intermediarios derivados de azúcares y aminoácidos, para producir furfurales, reductonas y dehidroreductonas.

En la **etapa final**, se producen compuestos que otorgan color, aroma y sabor al alimento a través de reacciones de condensación aldólica, condensación aldehído-amina y formación de heterociclos nitrogenados. Como productos de estas reacciones complejas, se obtienen moléculas de bajo peso molecular, responsables del aroma y sabor, y moléculas de alto peso molecular con dobles enlaces conjugados, responsables del color. Dentro de las moléculas de bajo peso molecular podemos encontrar alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, pirazinas, furfurales, furanos, lactonas y otras. Por otro lado, a las moléculas coloreadas de alto peso molecular se las conoce como melanoidinas. Estas pueden contener nitrógeno (proveniente de algunos intermediarios) y siempre poseen carbono, hidrógeno y oxígeno. Todas las melanoidinas presentan dobles enlaces conjugados y anillos aromáticos, pero difieren en su color, peso molecular, contenido de nitrógeno y solubilidad.

Existen varios factores que pueden influir en la velocidad de la reacción de Maillard. En este trabajo abordaremos experimentalmente los efectos del tipo de azúcar, concentración de azúcar, pH y tiempo y temperatura de cocción. Otros factores que pueden influir, pero no se analizan en este trabajo, son el tipo de aminoácido/proteína, la concentración de aminoácido/proteína, la presencia de inhibidores y la actividad de agua (Damodaran y Parkin, 2017).

Reacción de Maillard: abordaje experimental para estudiar los efectos que la modifican

Debido a su naturaleza, la reacción de Maillard puede ocurrir en presencia de azúcares simples y aminoácidos o proteínas cuando son sometidos a temperaturas adecuadas. El abordaje experimental de esta reacción puede realizarse en sistemas simplificados a través de la mezcla y calentamiento de soluciones de dichos sustratos (Kravchuk, Elliott y Bhandari, 2005). Por otro lado, también puede realizarse en sistemas alimentarios reales, lo que motivaría al estudiantado y potenciaría el aprendizaje a través de exponer la aplicabilidad de los experimentos. Si bien muchos sistemas alimentarios reales podrían utilizarse como base para el estudio de esta reacción, las galletitas dulces fueron los sistemas alimentarios seleccionados en este trabajo. Debido al elevado contenido de azúcar y al uso de harina y huevo (que aportan gran cantidad de proteínas), las galletitas dulces son productos alimentarios en donde la reacción de Maillard juega un papel fundamental, modificando su aroma, sabor y color (Žilić, Aktağ, Dodig y Gökmen, 2021). Además, son productos de fácil preparación que no requieren de ingredientes complejos ni materiales de laboratorio especializado.

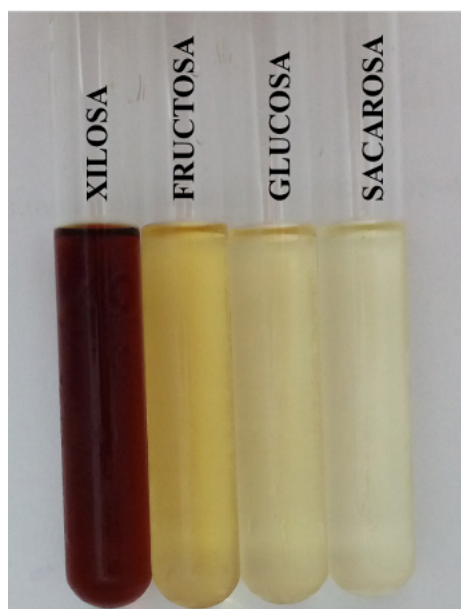


FIGURA 1. Resultados obtenidos al evaluar el efecto del tipo de azúcar sobre un sistema simplificado.

Efecto del tipo de azúcar

Para estudiar el efecto del tipo de azúcar en la reacción de Maillard, se prepararon sistemas simplificados y sistemas alimentarios siguiendo los protocolos descritos en los Anexos 1 y 2, respectivamente. En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos en el sistema simplificado, mientras que en la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos en galletitas dulces.

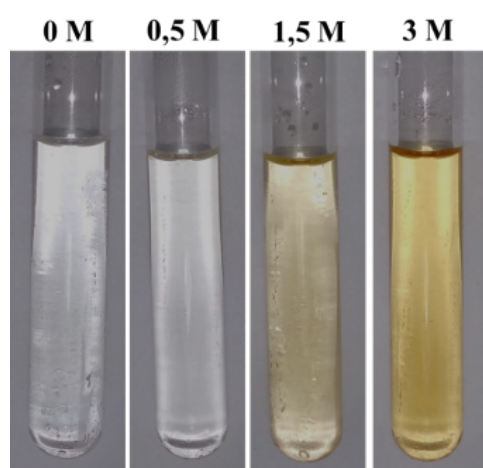
A partir de los resultados obtenidos se puede constatar que los monosacáridos (xilosa, glucosa y fructosa) son mucho más reactivos que los disacáridos (sacarosa). A su vez, dentro de los monosacáridos, las pentosas (xilosa) son más reactivas que las hexosas (glucosa y fructosa). Por otro lado, la bibliografía considera que, dentro de las hexosas, las aldosas (glucosa) son más reactivas que las cetosas (fructosa), excepto para algunos sistemas en donde se ha observado que la fructosa reacciona más rápidamente que la glucosa, como es el caso de los resultados obtenidos en ambos sistemas experimentales.

FIGURA 2. Resultados obtenidos al evaluar el efecto del tipo de azúcar en un sistema alimentario real.



Efecto de la concentración de azúcar

Para evaluar el efecto de la concentración de azúcar se siguieron los protocolos descritos en los Anexos 1 y 2. En la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos en el sistema simplificado al variar la concentración de fructosa, mientras que en la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos en galletitas dulces al variar la concentración de fructosa o de sacarosa. En este caso es importante resaltar que, para que ocurra la reacción, es necesario que ambos sustratos estén presentes (hidratos de carbono y proteínas/aminoácidos).



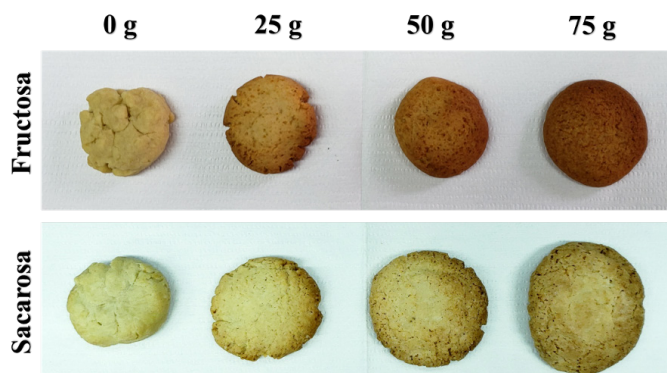
A partir de los resultados obtenidos en ambos sistemas se puede constatar que se obtiene una mayor cantidad de productos coloreados al aumentar la concentración de uno de los sustratos para un mismo tiempo y temperatura de cocción.

Efecto del pH

Para estudiar el efecto del pH sobre la reacción de Maillard se siguieron los protocolos descritos en los Anexos 1 y 2. En las Figuras 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos en el sistema simplificado y en el sistema alimentario real (galletitas dulces), respectivamente.

FIGURA 3. Resultados obtenidos al evaluar el efecto de la concentración de fructosa en un sistema simplificado.

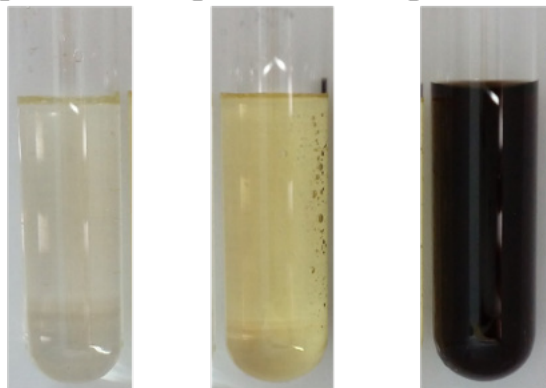
FIGURA 4. Resultados obtenidos al evaluar el efecto de la concentración de fructosa o sacarosa en un sistema alimentario real.



A partir de estos resultados obtenidos en ambos sistemas se puede constatar que, a pH alcalinos, se incrementa la velocidad de reacción dando lugar a mayor cantidad de productos coloreados para un mismo tiempo y temperatura de reacción. Por otro lado, en condiciones ácidas, el mecanismo se inhibe casi completamente, debido a que los grupos amino de los aminoácidos o proteínas se encuentran protonados ($-NH_3^+$, con carga positiva)

y reaccionan más lentamente con los azúcares en la etapa inicial de reacción. En cambio, a pH alcalinos, la amina se encuentra desprotonada ($-\text{NH}_2$, sin carga) y reacciona con los azúcares rápidamente iniciando la reacción. De todos modos, es importante recordar que la relación entre la cantidad de grupos amino protonados y desprotonados es un equilibrio químico que depende de la cercanía entre el pH del alimento y el pKa del grupo amino. Por lo que, a pH neutro, habrá más grupos amino desprotonados ($-\text{NH}_2$) que a pH ácido.

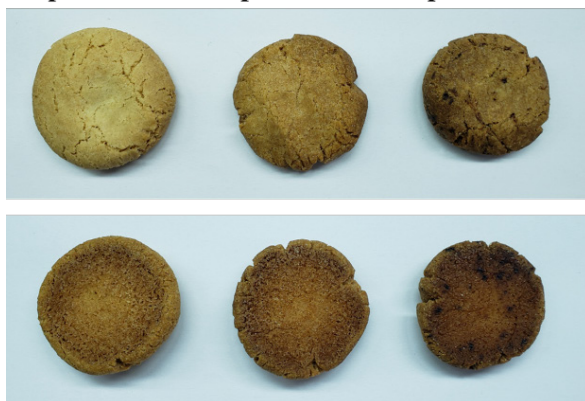
pH ácido pH neutro pH básico



Efecto del tiempo y la temperatura

Para evaluar el efecto del tiempo y de la temperatura de cocción sobre la reacción de Maillard se siguieron los protocolos descritos en los Anexos 1 y 2. En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos en el sistema simplificado, observaciones que se complementaron con las medidas de absorción UV-Visible presentadas en la Figura 8. Por otro lado, en las Figuras 9 y 10 se presentan los resultados obtenidos en galletitas dulces al modificar el tiempo o la temperatura de reacción, respectivamente.

pH ácido pH neutro pH básico



A partir de estos resultados se puede observar que, para una misma velocidad de reacción (iguales reactivos, temperatura y condiciones de reacción), la cantidad de productos coloreados aumenta cuanto más tiempo se deje progresar a la reacción. Es decir que, a mayor tiempo de reacción, se obtendrán mayor cantidad de productos coloreados (Figuras 7 y 9). Por otro lado, estos resultados también permiten demostrar que la velocidad de reacción aumenta al aumentar la temperatura. Es decir que, para un mismo tiempo de reacción,

se obtendrán mayor cantidad de productos coloreados cuanto mayor sea la temperatura (Figuras 7 y 10). Adicionalmente, a partir de los espectros de absorción UV-Visible, también es posible observar que la mayoría de los compuestos que se forman durante la reacción de Maillard no aportan color (su absorción ocurre a longitudes de onda menores a 380 nm que no son detectables por el ojo humano), siendo necesaria una elevada temperatura y tiempo de reacción para obtener concentraciones elevadas de compuestos coloreados que sean visibles. Finalmente, el empleo de determinaciones espectroscópicas también permite demostrar que la reacción sigue avanzando aunque ya no puede ser detectado a simple vista un cambio en el color; en la Figura 7 es difícil diferenciar visualmente las muestras sometidas a 100°C por 45 o 60 minutos, mientras que en la Figura 8 es fácilmente observable que la muestra que se mantuvo a 100°C por 60 minutos presenta mayor cantidad de compuestos que aportan color (mayor a 380 nm) y que no lo aportan (menor a 380nm) respecto de la muestra que se mantuvo solo por 45 minutos.

FIGURA 5. Resultados obtenidos al evaluar el efecto del pH en un sistema simplificado.

FIGURA 6. Resultados obtenidos al evaluar el efecto del pH en un sistema alimentario real.

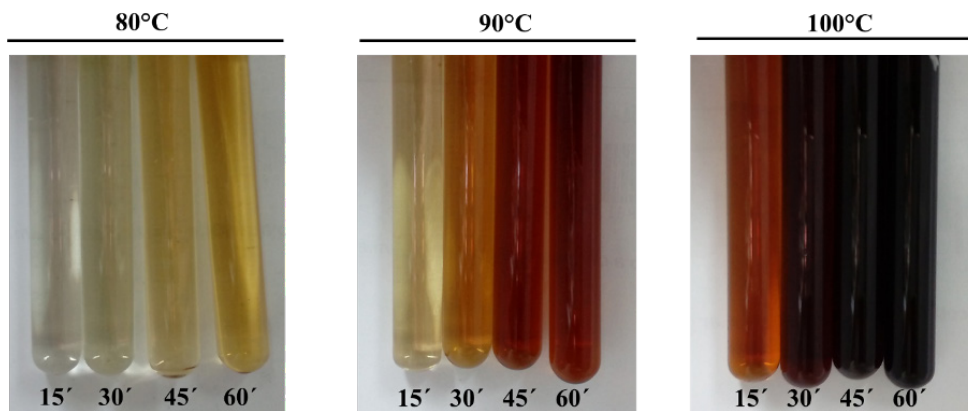


FIGURA 7. Resultados obtenidos al evaluar los efectos del tiempo y la temperatura en un sistema simplificado.

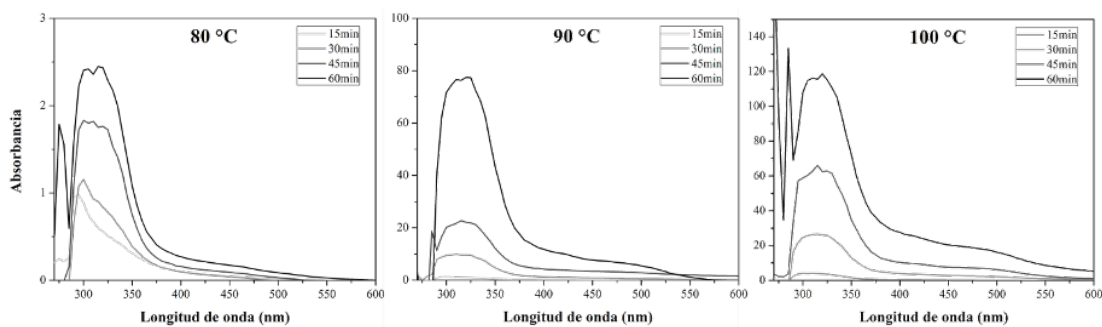


FIGURA 8. Espectros de absorción UV-Vis medidos al evaluar los efectos del tiempo y la temperatura en un sistema simplificado. *Los valores en el eje de absorbancia están corregidos por el factor de dilución utilizado.*

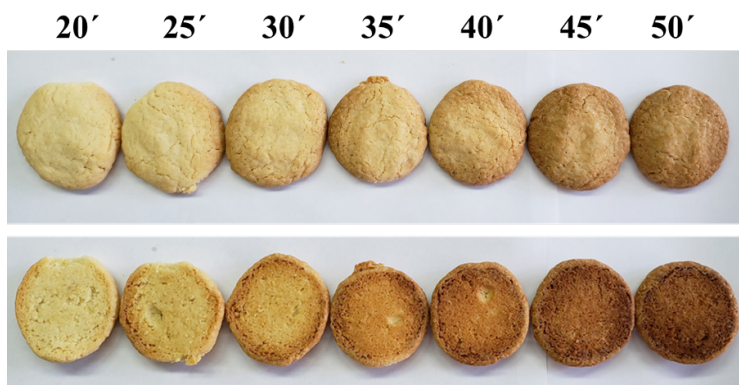


FIGURA 9. Resultados obtenidos para evaluar el efecto del tiempo en un sistema alimentario real.

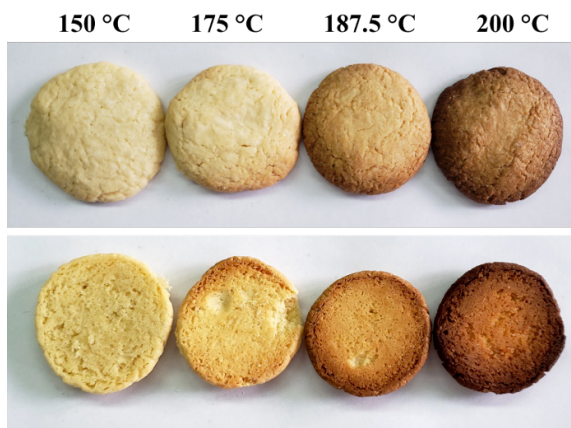


FIGURA 10. Resultados obtenidos al evaluar el efecto de la temperatura en un sistema alimentario real.

Discusión y aplicación de estos abordajes experimentales

Ambos tipos de experimentos (realizados en sistemas simplificados o en sistemas alimentarios reales) permiten analizar los efectos del tipo y concentración de azúcar, del pH del sistema y del tiempo y temperatura de cocción. En Química de los Alimentos, los sistemas simplificados se analizan y discuten en clase a partir de fotografías de resultados experimentales (Figuras 1, 3, 5, 7 y 8). Con este enfoque se espera que las personas estudiantes sean capaces de explicarlos y justificarlos considerando los contenidos teóricos previamente analizados en la clase. Posteriormente, en la unidad temática de “Cereales y productos derivados”, se realiza un trabajo práctico experimental de laboratorio en donde grupos de estudiantes siguen los protocolos descritos en el Anexo 2 para desarrollar y analizar lo que ocurre con la reacción de Maillard en un sistema alimentario real (obteniendo resultados similares a los mostrados en las Figuras 2, 4, 6, 9 y 10). Con este enfoque, se espera que las personas estudiantes ganen habilidades cognitivas y manuales relacionadas con la comprensión de diagramas experimentales para estudiar diversos efectos sobre los alimentos, seguimiento de protocolos, análisis de resultados y exposición de conclusiones, así como también desarrollen habilidades para trabajar en equipo. El propósito es lograr un aprendizaje que le permita a cada estudiante aprender ciencia y explicar a través de ella fenómenos de su vida cotidiana.

Ahora bien, es importante destacar que para lograr un aprendizaje significativo se requiere de un trabajo simultáneo de ejercitación, experimentación y metacognición (Landau, Ricchi y Torres, 2014). Como destaca Rivera Monroy (2016): *“la competencia científica no solo es el aprendizaje de conocimientos y procedimientos, sino también la construcción de una actitud y de un modo de comprender el mundo y actuar responsablemente en él a partir de la interacción social y a través del diálogo y la cooperación”* (Rivera Monroy, 2016). Entonces, para desarrollar la curiosidad, motivar, suscitar discusiones, demandar reflexión, elaboración de hipótesis y espíritu crítico, y para enseñar a analizar resultados y expresarlos correctamente, se requiere mucho más que una práctica de laboratorio con protocolos pautados (Carrascosa Alís, Gil Pérez, Vilches Peña y Valdés Castro, 2006). En una práctica pautada se recibe un protocolo, se replica y se observan los resultados, con el propósito de observar algún fenómeno y extraer algún concepto de él, lo que realza la concepción inductivista de la ciencia y genera deformaciones graves de la idea de qué es una investigación. Estas prácticas pautadas contribuyen a una visión aporosa, descontextualizada de la relevancia social, rígida, algorítmica y cerrada de la ciencia, faltando incluso el análisis crítico de los resultados obtenidos y el planteamiento de nuevos problemas (Carrascosa Alís y col., 2006).

Por ello, consideramos que los protocolos propuestos en este trabajo y los resultados obtenidos para analizar diversos efectos sobre la reacción de Maillard en sistemas simplificados y alimentarios reales deberían actuar como base para pensar y diagramar trabajos prácticos de laboratorio experimentales e integrativos que promuevan una visión constructivista y completa de la ciencia y la tecnología. Específicamente, para pensar estrategias de enseñanza y aprendizaje basadas en proyectos, se debería pensar en un problema de interés para el estudiantado que pueda ser resuelto a través de la experimentación. Como parte de esta actividad, las personas estudiantes deberían proponer un diagrama experimental y un protocolo a seguir para solucionar el problema de interés, realizar la experiencia en el laboratorio, recolectar los resultados, justificarlos y exponerlos con una adecuada reflexión del proceso en torno al problema de interés. Particularmente, como docentes de Química de Alimentos, nuestra propuesta será abordar las siguientes problemáticas aplicadas a sistemas alimentarios reales diferentes:

1. Ustedes trabajan en una planta productora de dulce de leche. Para ser utilizado en un postre, se desea obtener un dulce de leche con la misma consistencia y sabor dulce, pero un color más claro que el producto tradicional.
2. Ustedes trabajan en una planta productora de pan lactal y deben optimizar la formulación y/o las condiciones de producción para obtener una corteza más dorada.

Esta propuesta se basa en que Carrascosa Alís y colaboradores (2006) señalan que tanto estudiantes como docentes valoran positivamente el enfoque de prácticas de laboratorio como investigaciones en lugar de su orientación habitual como recetas de cocina. Adicionalmente, en que Vargas y De la Barrera (2021) destacan que los procesos de enseñanza y de aprendizaje basados en proyectos buscan que cada estudiante aprenda y desarrolle conocimiento y habilidades, investigando, trabajando, colaborando en un periodo amplio de tiempo para responder a una pregunta compleja, problema o desafío que lo motive. El papel de los equipos docentes en estos proyectos es guiar y asesorar, más que dirigir y gestionar el trabajo de las/os estudiantes. Además, en la actualidad se ha demostrado que las personas que aprenden en el marco de proyectos son más creativas y autónomas, son capaces de trabajar en equipo y se encuentran más motivadas (Vargas y De la Barrera, 2021). Adicionalmente, estos abordajes integrales podrían estar mediados por actividades virtuales sincrónicas o asincrónicas que ponen en juego otras habilidades cognitivas y competencias, además de asemejarlo a la actividad científica investigativa real (Diederer, Gruppen, Hartog y Voragen, 2006).

Finalmente, pero no menor, es de público conocimiento que la pandemia causada por COVID-19 ha modificado los procesos de enseñanza y de aprendizaje y nos ha llevado a modificar nuestros métodos, convirtiendo en un reto las instancias de experimentación y análisis de resultados (León Cedeño & Jiménez Curiel, 2022). En ese aspecto, es importante resaltar que los procedimientos realizados en galletitas dulces y los trabajos prácticos integrativos experimentales podrían ser implementados por las personas estudiantes en sus hogares, utilizando ingredientes y utensilios básicos de cocina. De esta manera, los enfoques experimentales (en sistemas reales) propuestos en este trabajo se podrían adaptar a cursos virtuales.

Conclusiones

La reacción de Maillard es la responsable de dar color, aroma y sabor a los alimentos que contienen hidratos de carbono y proteínas o aminoácidos, y son sometidas a un tratamiento térmico. En el presente trabajo se propuso estudiar esta reacción de manera experimental, con tres actividades. La primera de ellas, que se basó en la observación de resultados en tubos de ensayos, permitió al estudiantado discutir resultados y elaborar conclusiones, a partir de la observación y los fundamentos teóricos estudiados previamente. La segunda actividad, que consistió en la realización de un trabajo práctico en laboratorio aplicado a galletitas dulces, les permitió aplicar sus conocimientos a una situación de la vida cotidiana, además de favorecer el seguimiento de un protocolo, el desarrollo de habilidades manuales y el trabajo en equipo. Por último, como actividad de cierre para este tema, se propone una actividad experimental, pero sin protocolo pautado, para propiciar en el estudiantado la integración de contenidos y desafiarlos con un problema real, para el cual deban desarrollar estrategias para resolver un problema, diseñar un protocolo, realizar experimentos y sacar conclusiones.

Agradecimientos

Las autoras desean agradecer a las y los estudiantes que se desempeñaron como auxiliares académicos de la asignatura Química de los Alimentos y que colaboraron en la puesta a punto los ensayos aquí propuestos. Asimismo, nos gustaría agradecer a la dirección y secretaría del Departamento de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes por gestionar los fondos para comprar los reactivos y materiales utilizados en los trabajos prácticos de la asignatura y para esta publicación.

Referencias

- Avargil, S. (2019). Learning chemistry: Self-efficacy, chemical understanding, and graphing skills. *Journal of Science Education and Technology*, 28(4), 285-298.
- BaduiDergal, S. (2016). Química de los alimentos. México, Pearson Educación.
- Berrio, A. T. (2009). La experimentación dirigida como método eficaz de la investigación y del aprendizaje significativo. [Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD.
- Carrascosa Alís, J., Gil Pérez, D., Vilches Peña, A., & Valdés Castro, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 2006, vol. 23, num. 2, p. 157-181.
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (Eds.). (2017). *Fennema's food chemistry*. Fifth edition. CRC press.
- Diederer, J., Gruppen, H., Hartog, R., & Voragen, A. G. (2006). Design and evaluation of digital assignments on research experiments within food chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 15, 227-246.
- Fernández, C. L., & Aguado, M. I. (2017). Aprendizaje basado en problemas como complemento de la enseñanza tradicional en Fisicoquímica. *Educación Química*, 28(3), 154-162.
- Kravchuk, O., Elliott, A., & Bhandari, B. (2005). A laboratory experiment, based on the maillard reaction, conducted as a project in introductory statistics. *Journal of Food Science Education*, 4(4), 70-75.
- Landau, L., Ricchi, G., & Torres, N. (2014). Disoluciones: ¿Contribuye la experimentación a un aprendizaje significativo? *Educación química*, 25(1), 21-29.
- León Cedeño, F., & Jiménez Curiel, C. D. C. (2022). Experiencias docentes durante la pandemia= Curso experimental. *Educación Química*, 33(2), 82-93.
- Rivera Monroy, A. M. (2016). La experimentación como estrategia para la enseñanza aprendizaje del concepto de materia y sus estados. Trabajo de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Matemáticas y Estadística. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59111>
- Séré, M. G. (2002). La enseñanza en el laboratorio: ¿qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368.

Vargas, L. A. C., & De la Barrera, A. E. R. (2021). Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): experimentación en laboratorio, una metodología de enseñanza de las Ciencias Naturales. *Plumilla Educativa*, 27(1), 105-128.

Žilić, S., Aktağ, I. G., Dodig, D., & Gökmen, V. (2021). Investigations on the formation of Maillard reaction products in sweet cookies made of different cereals. *Food Research International*, 144, 110352.

Anexo 1. Protocolos para sistemas simplificados

Efecto del tipo de azúcar

En cuatro tubos de ensayos, colocar 3 mL de solución de glicina 1,5 M. Luego, en cada tubo, agregar 3 mL de soluciones 3 M de xilosa, glucosa, fructosa o sacarosa. Calentar los tres tubos en estufa a 70 °C durante 24 h. Esperar que las muestras alcancen temperatura ambiente y observar.

Efecto de la concentración de azúcar

En cuatro tubos de ensayos, colocar 3 mL de solución de glicina 1,5 M. En el primer tubo, agregar 3 mL de agua destilada. En los siguientes tubos agregar 3 mL de soluciones de fructosa 0,5, 1,5 o 3 M. Calentar los tres tubos en estufa a 70 °C durante 24 h. Esperar que las muestras alcancen temperatura ambiente y observar.

Efecto del pH

En tres tubos de ensayos, colocar 3 mL de solución de glicina 1,5 M y 3 mL de solución de glucosa 3 M. Utilizando un pH metro o tiritas medidoras del pH y soluciones de HCl 1 M o NaOH 1 M, llevar el pH del primer tubo a pH 4.0, del segundo tubo a pH 7.0 y del tercer tubo a pH 10.0. Calentar los tres tubos en estufa a 70 °C durante 24 h. Esperar que las muestras alcancen temperatura ambiente y observar.

Efecto del tiempo y temperatura

En 12 tubos de ensayo, colocar 3 mL de lisina 1,5 M y 3 mL de xilosa 1,5 M. Luego, colocar cuatro tubos en baño de agua a 80 °C, otros cuatro tubos en baño de agua a 90 °C y los últimos cuatro tubos en baño de agua a 100 °C. Cada 15 minutos, retirar un tubo de cada condición de temperatura. Una vez que alcanzaron temperatura ambiente, observar y comparar. Adicionalmente, utilizando un espectrofotómetro UV-Visible, determinar los espectros de absorción de cada muestra. Hay que considerar que para algunas muestras será necesario realizar diluciones en agua destilada previo a la medida.

Anexo 2. Protocolos para sistemas alimenticios reales (galletitas dulces)

Efecto del tipo de azúcar

Mezclar 17,5 g de aceite, 12,5 g de huevo y 50 g del azúcar a utilizar (sacarosa, glucosa o fructosa). Agregar poco a poco 70 g de harina, y 0,4 g de polvo para hornear. En caso de ser necesario, ir adicionando agua hasta obtener una masa homogénea y suave. Separar la masa en 8 porciones de aproximadamente 20 g cada una para armar las galletitas. Cocinar en horno precalentado a 175 °C por 20 minutos. Esperar a que las galletitas alcancen temperatura ambiente y observar.

Efecto de la concentración de azúcar

Mezclar 17,5 g de aceite, 12,5 g de huevo y agregar la cantidad de azúcar que corresponda (0, 25, 50 o 75 g). Agregar poco a poco 70 g de harina, y 0,4 g de polvo para hornear. En caso de ser necesario, ir adicionando agua hasta obtener una masa homogénea y suave. Separar la masa en 8 porciones de aproximadamente 20 g cada una para armar las galletitas. Cocinar en horno precalentado a 175 °C por 20 minutos. Esperar a que las galletitas alcancen temperatura ambiente y observar.

Efecto del pH

Mezclar 17,5 g de aceite, 12,5 g de huevo y 50 g de sacarosa. Agregar poco a poco 70 g de harina, y 0,4 g de la sustancia que corresponda: para obtener pH ácido utilizar ácido cítrico, para pH neutro utilizar harina y para pH básico utilizar bicarbonato de sodio. En caso de ser necesario, ir adicionando agua hasta obtener una masa homogénea y suave. Separar la masa en 8 porciones de aproximadamente 20 g cada una para armar las galletitas. Cocinar en horno precalentado a 175 °C por 30 minutos. Esperar a que las galletitas alcancen temperatura ambiente y observar.

Efecto del tiempo de cocción

Mezclar 17,5 g de aceite, 12,5 g de huevo y 50 g de sacarosa. Agregar poco a poco 70 g de harina, y 0,4 g de polvo para hornear. En caso de ser necesario, ir adicionando agua hasta obtener una masa homogénea y suave. Separar la masa en 8 porciones de aproximadamente 20 g cada una para armar las galletitas. Cocinar en horno precalentado a 175 °C; ir retirando de a una galletita cada 5 min desde los 20 a los 50 min de cocción. Esperar a que las galletitas alcancen temperatura ambiente y observar.

Efecto de la temperatura de cocción

Mezclar 17,5 g de aceite, 12,5 g de huevo y 50 g de sacarosa. Agregar poco a poco 70 g de harina, y 0,4 g de polvo para hornear. En caso de ser necesario, ir adicionando agua hasta obtener una masa homogénea y suave. Separar la masa en 8 porciones de aproximadamente 20 g cada una para armar las galletitas. Cocinar de a dos galletitas en horno precalentado a 150, 175, 187,5 o 200°C por 20 minutos. Esperar a que las galletitas alcancen temperatura ambiente y observar.