

Un marco educativo en microbiología

Autenticación de alimentos mediante análisis del microbioma

Mamá: ¿cómo es posible que a papá le guste ese queso maloliente?



Autor desconocido, Dominio público, vía Wikimedia Commons

**Elaine Cristina Pereira De Martinis¹, Otávio Guilherme Gonçalves de Almeida¹,
Virgínia Farias Alves²**

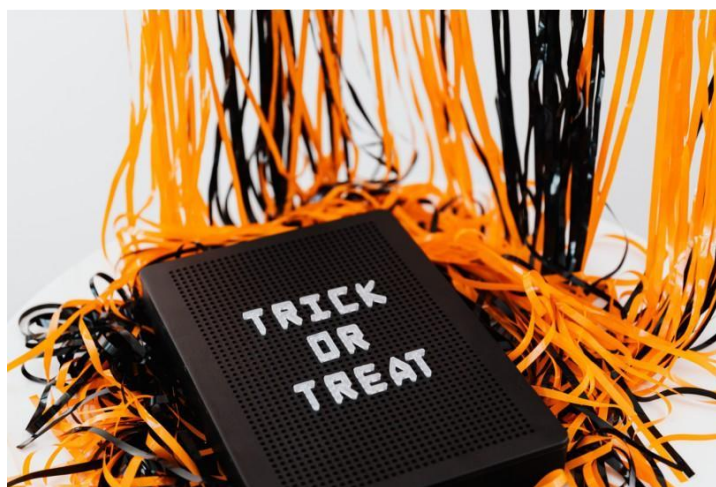
¹ Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo - Ribeirão Preto - SP, Brasil,² Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Goiás - Goiânia - GO, Brasil

Un marco educativo en microbiología

Autenticación de alimentos mediante análisis del microbioma

Sinopsis

La protección de los alimentos es un asunto muy serio, ya que puede garantizar que nuestras comidas cotidianas no tengan un riesgo significativo de contaminación por agentes físicos, químicos o biológicos peligrosos. Estas amenazas pueden entrar en el suministro de alimentos de forma no intencionada, pero también pueden llegar a nuestras mesas por la acción de delincuentes que **adulteran** los alimentos. En lugar de ser una "golosina", los alimentos adulterados pueden convertirse en un "truco".



Trick or Treat Sig, por Karolina Grabowska. De Pexels.

Los delitos relacionados con la adulteración de alimentos causan pérdidas por valor de miles de millones de dólares cada año y son motivo de preocupación para la salud pública, ya que a menudo implican la adición a los productos alimenticios de ingredientes extraños que pueden perjudicar nuestra salud. La adulteración puede tener el objetivo de aumentar los beneficios (por ejemplo, añadiendo ingredientes más baratos no declarados en las etiquetas, que pueden causar alergias, intoxicaciones o infecciones) o también puede servir a otras malas intenciones, como **el bioterrorismo** (por ejemplo, mediante la adición deliberada de agentes patógenos a los alimentos durante su producción o transporte).

Afortunadamente, existen muchas estrategias de prevención durante el procesado de los alimentos para evitar su contaminación. Una de ellas es el análisis de los microbiomas alimentarios, que revela "firmas microbianas" que pueden indicar la autenticidad de los alimentos.

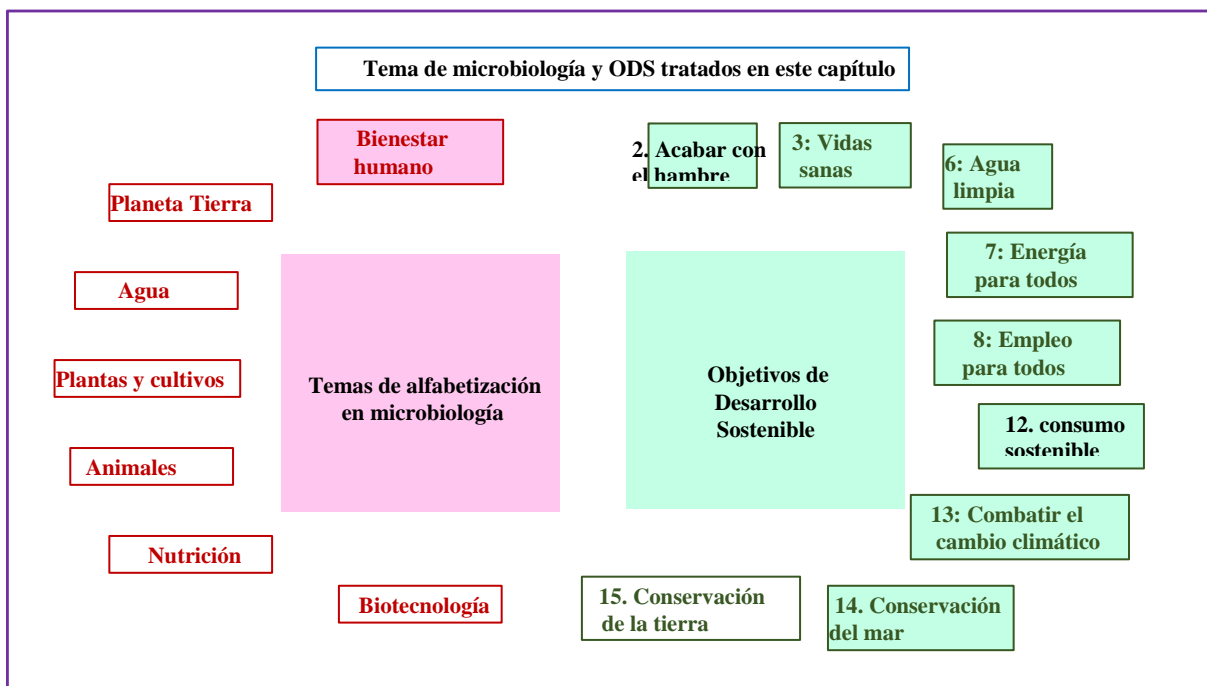
¿Cómo pueden los científicos averiguar si un producto alimenticio acabado es realmente lo que se supone que es? ¿Estoy comprando realmente ese queso caro con *denominación de origen* o ha sido preparado sin cuidado en otra parte del mundo?

La microbiología y el contexto social

La microbiología: microbiología alimentaria, microbiomas alimentarios, secuenciación del ADN, metagenomas.

Cuestiones de sostenibilidad: salud, alimentación y energía, economía y empleo, calentamiento global.

Un marco educativo en microbiología



Autenticación de alimentos mediante el análisis del microbioma: la Microbiología

1. **La importancia de saber qué contienen los alimentos y su autenticidad.** La garantía de que un determinado alimento es realmente lo que se supone que es implica el trabajo de socios de la industria alimentaria, organismos gubernamentales y el mundo académico. También los consumidores y las organizaciones sociales son partes interesadas y desempeñan un papel importante para inhibir el fraude en la cadena de suministro alimentario, eligiendo inteligentemente entre comerciantes legales y autorizados.

Los científicos recurren a varios métodos para resolver los delitos relacionados con el fraude alimentario, como la determinación de la composición química, las propiedades físicas y las características biológicas, incluido el análisis microbiológico para determinar qué microbios están presentes y en qué cantidad. Sin embargo, más recientemente, con las técnicas ampliamente disponibles para la **secuenciación masiva de ADN**, la búsqueda de ADN microbiano directamente en los alimentos también se ha utilizado para rastrear los distintos orígenes de los productos alimenticios.

Intrigante, ¿verdad? Aprendamos más sobre cómo los microbios pueden ayudar a descubrir, de hecho, cuáles son los ingredientes de nuestro plato...

2. **Diversidad microbiana de los alimentos: salud, sabores, economía y leyes.** Piense en lo complejo que puede ser un alimento... Hay alimentos de los que es más fácil saber de dónde proceden y cuáles son sus ingredientes, como la leche pasteurizada o los huevos. Sin embargo, las cosas pueden complicarse más si pensamos en alimentos como las comidas congeladas, los perritos calientes, la comida rápida, las galletas y pasteles envasados, etc. También está el reto del comercio mundial de alimentos, con ingredientes suministrados por cientos de países de todo el mundo, con normas sanitarias e higiénicas diversas.

Así llegamos a la "Ciencia de los Alimentos", un campo complejo en el que intervienen la biología, la química, la física, el análisis sensorial, el comportamiento del consumidor, las prácticas agrícolas y las políticas públicas, entre otros. La microbiología de los alimentos, que estudia la **microbiota** de los distintos alimentos, tiene una importancia fundamental en la ciencia de los alimentos.

Un marco educativo en microbiología

"Microbiota" es un término que hace referencia a todos los microorganismos vivos de una comunidad, en la que también influyen factores externos, como la temperatura, el pH, la luz o la composición de la atmósfera.

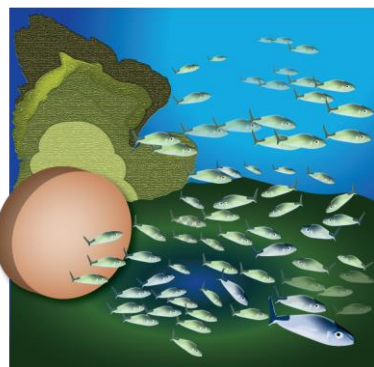
Identificar todos los microorganismos de una muestra alimentaria no es una tarea sencilla, y exige mucha pericia, incluidos los conocimientos sobre **genómica**, que pueden revelar el microbioma alimentario. El "microbioma" se refiere a la colección de genes y genomas de una comunidad microbiana - no importa si los microorganismos están vivos o muertos. Así pues, al determinar el microbioma alimentario, los científicos pueden descubrir muchas cosas sobre la autenticidad de los alimentos, incluso en los casos en que los microbios ya no pueden cultivarse. Esto forma parte de la ciencia forense alimentaria.

3. Entonces, ¿qué hacemos exactamente en la ciencia forense alimentaria? Para determinar el microbioma alimentario, los científicos necesitan extraer el ADN total de la muestra alimentaria. Por ADN total se entiende todos los genomas -cromosomas- de todas las células de la muestra, tanto las de los microbios como las de cualquier tejido vegetal o animal presente. Este ADN se utiliza para hacer una "biblioteca" de ADN, una colección de segmentos de ADN que pueden analizarse mediante secuenciación en un instrumento muy especializado: el secuenciador de ADN. Cuando se secuencia el ADN total de una muestra determinada, se genera como salida un archivo informático con secuencias de ADN mezcladas, procedentes de todo el microbioma y también de otras fuentes. A continuación, los científicos "filtran" únicamente las secuencias de ADN procedentes de los microbios utilizando enfoques bioinformáticos (algoritmos informáticos), y reconstruyen *in silico* (en el ordenador) todos los genomas de la comunidad microbiana, para determinar su composición (qué microorganismos estaban presentes en la muestra) y estimar las funciones de los microbios (qué tipo de sustancias son capaces de utilizar y producir esos microorganismos).

Llegados a este punto, podríamos preguntarnos: *¿Los microorganismos que encontramos en los alimentos son los que esperábamos que hubiera en ellos? ¿Se detectan microbios que no esperaríamos? ¿Están relacionados con microbios nocivos? ¿Producen sustancias con buen sabor o no?* El microbioma puede ayudar a responder a estas preguntas, que son importantes para determinar la autenticidad de los alimentos.

Para entenderlo mejor, veamos algunos casos prácticos:

a. *¿Es el alimento realmente lo que se supone que es?* Los científicos están investigando el microbioma de diferentes productos del mar para detectar la sustitución fraudulenta de productos de pargo, bacalao y surimi, y hasta ahora han descubierto una mayor abundancia de ADN bacteriano del género *Pseudomonas* en el sashimi de tilapia etiquetado erróneamente como pargo. Se trata de una bacteria relacionada con el deterioro de los alimentos, además de poder causar infecciones en personas debilitadas.



Esta imagen de Escuela de peces fue obtenida en: seekpng.com como imagen gratuita.

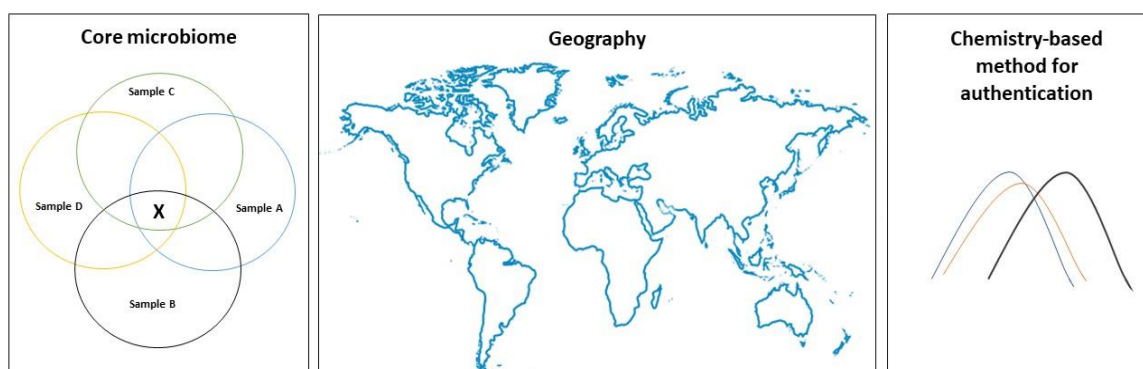
Un marco educativo en microbiología

La tilapia es más barata que el pargo, y la primera es un tipo de pez que suele criarse en estanques de agua dulce, en contraste con el pargo, que vive en el océano. Los científicos también saben que *Pseudomonas* se encuentra habitualmente en suelos y medios acuáticos. Al analizar el microbioma, sugirieron la presencia de mayores cantidades de ADN de *Pseudomonas* sp. podría indicar la sustitución fraudulenta del pargo por la tilapia.

b. *¿Procede realmente del lugar indicado en la etiqueta?* Existe interés por determinar el origen geográfico de los alimentos con fines de sostenibilidad: el consumidor tiene derecho a conocer el método de producción de los alimentos (pescado salvaje o de piscifactoría). Los científicos han demostrado en el caso de los mariscos que los índices de diversidad microbiana determinados por el análisis del microbioma pueden correlacionarse con su región de origen.

c. *¿Procede un producto con "Denominación de Origen Protegida" (DOP) del origen especificado?* La denominación DOP garantiza la autenticidad de un producto alimenticio procedente de una región determinada y producido con métodos tradicionales, por ejemplo, los quesos "Parmigiano Reggiano" y "Grana Padano". Tener una DOP hace que el producto sea más valioso, por lo que hay un beneficio económico en etiquetar un producto similar de una región diferente DOP. La determinación de la composición química típica y el microbioma son medios importantes para detectar fraudes.

Para cada producto alimentario de interés, los científicos intentan encontrar un "microbioma central", es decir, los taxones microbianos que se encuentran en la mayoría de las muestras de un producto. Para ilustrar este concepto, en la figura siguiente, a la izquierda, cada círculo representa todos los microbios de una muestra determinada. Los mismos microbios presentes en ambas muestras, como en A y B, se encuentran donde se solapan dos círculos. El "microbioma central" de todas las muestras de un determinado alimento está representado por una "X". Esta figura también nos recuerda otros aspectos importantes a la hora de definir los productos con DOP, a saber, la geografía y la composición química.



El archivo del mapa se obtuvo en: seekpng.com como imagen gratuita. Las demás figuras son de los autores.

d. *¿Contiene mi yogur "probiótico" el microbio vivo adecuado en la cantidad correcta?* Un alimento "probiótico" se define como un producto que contiene microorganismos viables que, administrados en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped. Para ser un auténtico probiótico, en su etiqueta debe figurar el nombre del microorganismo beneficioso y la cantidad de células viables presentes en cada ración del alimento/producto. Sin embargo, los científicos ya han comprobado que lo que se describe en la etiqueta



“Para pacientes y cuidadores” fue obtenida en: seekpng.com como una imagen gratuita

Un marco educativo en microbiología

no siempre se corresponde con la realidad.

Uno de los errores de etiquetado más comunes en los probióticos es la información errónea sobre la especie de microorganismo que contiene (por ejemplo, *Lactobacillus acidophilus* en lugar de *Lactobacillus helveticus*).

También se han encontrado en los probióticos microorganismos que no se indican en la etiqueta, además de errores en las cantidades de microorganismos por dosis del producto.

e. *¿Se ha elaborado mi vino en el viñedo especificado? ¿Refleja el "terroir" correcto?* La transformación del zumo de uva en vino es un proceso biotecnológico complejo, en el que influye el "terroir", que puede definirse como un ecosistema cultivado interactivo, en un lugar determinado, que incluye el clima, el suelo, la geología y mineralogía subyacentes, la naturaleza del agua disponible y la cepa. Estos factores influyen a su vez en la composición del microbioma de la uva.

El microbioma de la fermentación del vino es clave para definir los atributos sensoriales, y los estudios sobre el ADN de las comunidades microbianas de uvas Chardonnay procedentes de 23 viñedos de cuatro regiones diferentes de un mismo país, demostró que había ¡más de 200 especies de hongos! Este tipo de conocimiento puede ayudar a determinar la autenticidad de los vinos.



Copa de vino
Imagen gratis de
seekpng.com

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Retos

La autenticación de los alimentos es relevante para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, incluyendo aspectos relacionados con el microbioma, como:

- **Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible** (*acabar con el hambre y la malnutrición, aumentar la productividad agrícola*). Los alimentos fraudulentos deben desecharse. Así, en lugar de contribuir a una buena salud y nutrición, supone un despilfarro de recursos, e incluso podría causar enfermedades y muertes, dependiendo del adulterante. Desde otro punto de vista, algunos microbios pueden mejorar el valor nutritivo de los alimentos, por ejemplo, degradando compuestos tóxicos naturales. Los microbios también pueden ayudar a conservar los alimentos: los productos fermentados suelen tener una vida útil más larga que los frescos, y a veces ni siquiera es necesario conservarlos en el frigorífico. Piense en la leche fresca frente al queso o el yogur, o en la carne fresca frente al salami. Esto es muy importante para contribuir a la **seguridad alimentaria**.
- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades** (*mejorar la salud, reducir las enfermedades prevenibles y las muertes prematuras*). La garantía de un alimento con un microbioma auténtico ayuda a ofrecer alimentos seguros a los consumidores y, en el caso de los probióticos, también ayuda a proporcionar los "bichos buenos" que pueden contribuir a mantener la salud intestinal y reducir el riesgo de enfermedad, incluidas **las enfermedades** infecciosas y **crónicas**.
- **Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos** (*garantizar agua potable, mejorar la calidad del agua, reducir la contaminación, proteger los ecosistemas relacionados con el agua, mejorar la gestión del agua y el saneamiento*). Para producir alimentos se necesita mucha agua en varias fases de producción en la granja y/o en la industria de transformación. Si los alimentos no son aptos

Un marco educativo en microbiología

para el consumo debido a un fraude, también se desperdicia el agua utilizada en su producción. También es importante señalar la necesidad de utilizar agua de buena calidad para la producción de alimentos, ya que el agua puede ser portadora de "bichos malos" que pueden contaminar nuestros platos.

- **Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos** (*garantizar el acceso a una energía limpia, renovable y sostenible, y aumentar la eficiencia en el uso de la energía*). En la agricultura, los cultivos se destinan a la alimentación humana y animal (incluidos los animales domésticos), a la producción de biocombustibles y a la obtención de materiales. Dado que la oferta de tierras agrícolas y suelos fértiles es limitada, es esencial que se utilicen de forma eficiente para maximizar la seguridad alimentaria y energética. La autenticación de los alimentos por diversos métodos (incluido el microbioma) contribuye a los recursos de seguridad y, por tanto, sostenibilidad, al certificar el origen y la calidad de los alimentos y reducir así los residuos.

- **Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos** (*promover el crecimiento económico, la productividad y la innovación, la empresa y la creación de empleo*). Diferentes especies de microorganismos se utilizan para la producción de alimentos y bebidas fermentadas, como productos lácteos, pepinos encurtidos, pan de masa fermentada y kéfir, entre otros. El uso industrial de estos microorganismos, además de mejorar la calidad de los alimentos, genera oportunidades de empleo e ingresos para los productores, incluida la **agricultura familiar**.

- **Objetivo 12. Garantizar modelos de consumo y producción sostenibles** (*lograr prácticas de producción y uso/consumos sostenibles, reducir la producción de residuos/liberación de contaminantes al medio ambiente, lograr ciclos de vida de residuo cero, informar a la población sobre prácticas de desarrollo sostenible*). Promover una cultura que garantice la autenticidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena de producción contribuye a garantizar la sostenibilidad apoyando la elección inteligente de alimentos por parte de los consumidores y reduciendo los residuos debidos a los alimentos desechados.

- **Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos** (*reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigar las consecuencias del calentamiento global, desarrollar sistemas de alerta temprana de las consecuencias del calentamiento global, mejorar la educación sobre la producción de gases de efecto invernadero y el calentamiento global*). La producción responsable de alimentos contribuye a minimizar el calentamiento global, ahorrando recursos para producir sólo alimentos que utilicen materias primas producidas de forma sostenible, que tengan una vida útil adecuada y que no estén contaminados con microbios peligrosos.

- **Objetivo 14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible** (*reducir la contaminación de los sistemas marinos por sustancias químicas tóxicas/nutrientes agrícolas/residuos como los plásticos, desarrollar medidas de mitigación de la acidificación, potenciar el uso sostenible de los océanos y sus recursos*). El estudio del microbioma puede contribuir a garantizar la autenticidad de productos alimentarios que se supone que proceden de una zona geográfica concreta o pertenecen a una especie determinada (de pescado, por ejemplo). Esto puede contribuir al bienestar de otros organismos que no deben capturarse para el consumo alimentario, para preservar la biodiversidad.

Posibles implicaciones para las decisiones

1. **Individual** (Cómo los conocimientos sobre el microbioma alimentario aplicados a la

Un marco educativo en microbiología

autenticidad de los alimentos pueden afectar a mis elecciones alimentarias)

a. Los alimentos adulterados pueden causar daños a la salud debido a la presencia inesperada de alérgenos alimentarios, contaminantes bacterianos de los alimentos y otras toxinas. Comprar alimentos a proveedores fiables es importante para garantizar la autenticidad de lo que usted y su familia comen.

b. Muchos alimentos pueden tener declaraciones de propiedades saludables, como las relacionadas con compuestos bioactivos y microorganismos probióticos, pero es muy importante consumir este tipo de alimentos sólo si han sido aprobados e inspeccionados por los organismos sanitarios de su país.

c. Si conoce algún caso de comercio ilegal de alimentos, advierta a sus colegas de los peligros de vender y comprar alimentos no inspeccionados.

2. *Políticas comunitarias*

a. Campañas de información y educación que informen a los miembros de la comunidad de los riesgos de los alimentos adulterados y de cómo evitarlos.

b. Realización de inspecciones alimentarias en la cadena de suministro.

3. *Políticas nacionales*

a. Inspecciones en las fronteras nacionales de los alimentos que entran en el país procedentes del extranjero, y en los centros de distribución de alimentos nacionales, con el fin de minimizar los problemas de salud pública derivados de los alimentos adulterados.

b. Desarrollo de políticas desincentivadoras de la adulteración de alimentos: la adulteración de alimentos es una actividad delictiva.

Participación de los alumnos

1. *Debates en clase*

a. de las cuestiones relacionadas con la autenticación de los alimentos

b. de las cuestiones relacionadas con la elección inteligente de alimentos basada en la importancia de la autenticación de los alimentos

c. sobre cómo el ADN de los microbios presentes en los alimentos puede ayudar a descubrir si ese producto es realmente lo que dice en su etiqueta.

d. sobre lo que los científicos han estado explorando acerca del ADN de los microbios en los alimentos para detectar fraudes.

2. *Sensibilización de los alumnos*

a. ¿Lees la información de los envases de algunos de los alimentos que compras? ¿Qué alimentos? ¿Qué información buscas? ¿Qué información busca? ¿Influye mucho en la decisión de comprar o no el producto?

b. ¿Qué información le gustaría tener que no se facilite actualmente? ¿Por qué? ¿Cómo afectaría a sus decisiones?

c. ¿Por qué es importante etiquetar correctamente los alimentos en función de su origen?

d. ¿Por qué la autenticación de los alimentos es un problema de seguridad para usted y su familia?

3. *Ejercicios*

a. Busca en Internet diferentes proveedores de un alimento que te guste mucho y copia la información que te proporcionen. Compara las distintas informaciones obtenidas y decide qué es importante para ti y qué puede faltar que también lo sea. Discute qué podría

Un marco educativo en microbiología

mejorarse en la información facilitada y cómo podría normalizarse entre los distintos proveedores.

b. Imagina que vives en un pueblo donde se produce tradicionalmente desde hace mucho tiempo un tipo especial de alimento que es DOP. Formule la información que considera importante (i) para definir y proteger su estatus, y (ii) para que la tenga el consumidor.

Base empírica, lecturas complementarias y material didáctico

Microbial terroir - current research round-up. Disponible en: <https://www.jancisrobinson.com/articles/microbial-terroir-current-research-roundup>. Consultado el 23 de febrero de 2022.

SIMBA (Innovación sostenible de las aplicaciones del microbioma en el sistema alimentario). El microbioma y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Disponible en: <http://simbaproject.eu/the-microbiome-and-the-sustainable-development-goals-sdgs/>. Consultado el 1 de diciembre de 2022.

Para conocer más conceptos generales sobre la metagenómica y sobre el fraude alimentario, consulte los siguientes artículos de revisión:

Almeida, O.G.G., De Martinis, E.C.P. Bioinformatics tools to assess metagenomic data for applied microbiology. *Microbiología aplicada y biotecnología*. 103: 69-82, 2019. doi: 10.1007/s00253-018-9464-9.

Manning, L., Soon, J.M. Seguridad alimentaria, fraude alimentario y defensa alimentaria: A Fast Evolving Literature. *Journal of Food Science*. 81(4): R823-R834 (. doi: 10.1111/1750-3841.13256, 2016. La Figura

1 de esta referencia es muy útil para ilustrar y categorizar las posibles modificaciones intencionadas y no intencionadas de los alimentos.

Spink, J., Moyer, D.C. Definición de la amenaza para la salud pública del fraude alimentario *Journal of Food Science*. 76(9): R157-R163, 2011. doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02417.x

Referencias específicas para casos prácticos. Aunque estos documentos tienen un enfoque técnico y especializado, los textos proporcionan información general que puede utilizarse en la preparación de esta lección.

Para el estudio de caso 1, consulte:

Chen, P.Y., Ho, C.W., Chen, A.C., Huang, C.Y., Liu, T.Y., Liang, K.H. Investigating seafood substitution problems and consequences in Taiwan using molecular barcoding and deep microbiome profiling. *Scientific Reports*, 10: 21997, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79070-y>

Para el estudio de caso 2, consulte:

Liu, X., Teixeira, J.S., Ner, S., Ma, K.V., Petronela, N., Banerjee, S., Ronholm, J. Exploring the Potential of the Microbiome as a Marker of the Geographic Origin of Fresh Seafood. *Frontiers in Microbiology*, 11:696, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00696>

Para el estudio de caso 3, consulte:

Kamilari, E., Tomazou, M., Antoniadou, A., Tsaltas, D. ¿Tecnologías de secuenciación de alto rendimiento como una nueva caja de herramientas para el análisis profundo, la caracterización y potencialmente la autenticación de quesos con denominación de origen protegida? *International Journal of Food Science*, ID 5837301, 2019.

Un marco educativo en microbiología

<https://doi.org/10.1155/2019/5837301>

La Figura 1 de esta referencia es muy útil para ilustrar los diferentes pasos que pueden afectar a la dinámica de los microbiomas del queso.

Alexander, T., Allen, E.E., Roy, K. Definición y cuantificación del microbioma central: Challenges and prospects. PNAS, 118 (51):e2104429118, 2021. <https://doi.org/10.1073/pnas.2104429118>

Para el estudio de caso 4, consulte:

Kim, E., Yang, S.M., Lim, B., Park, S.H., Rackerby, B., Kim, H.Y. Design of PCR assays to specifically detect and identify 37 *Lactobacillus* species in a single 96 well plate. BMC Microbiology, 20, 96, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01781-z>

Para el estudio de caso 5, consulte:

Taylor, M. W., Tsai, P., Anfang, N., Ross, H. A., & Goddard, M. R. (2014). Pyrosequencing reveals regional differences in fruit-associated fungal communities. Environmental Microbiology, 16(9):2848-2858, 2014. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12456>

Leeuwen, V. Terroir: el efecto del entorno físico en el crecimiento de la vid, la maduración de la uva y los atributos sensoriales del vino. Editor(es): Andrew G. Reynolds, *En Woodhead Publishing Series in Food*

Science, Technology and Nutrition, Managing Wine Quality, Woodhead Publishing, 273-315 , 2010. <https://doi.org/10.1533/9781845699284.3.27>

También se puede encontrar información adicional en los siguientes materiales, que pueden ser útiles para demostrar las aplicaciones a los alumnos.

Europea Europea. Conocimiento Centro para Alimentación fraude alimentario y Calidad.

https://knowledge4policy.ec.europa.eu/food-fraud-quality_en

Europea Europea. CCI Digital Media Hub.

<https://visitors-centre.jrc.ec.europa.eu/en/media/animations/knowledge-centre-food-fraud-and-quality> Consorcio para Secuenciación la

Alimentos Supply Chain.

https://researcher.watson.ibm.com/researcher/view_group.php?id=9635#:~:text=The%20consortium%20is%20working%20to,to%20be%20evolved%20and%20applied

IFIS Información alimentaria y sanitaria. <https://www.ifis.org/blog/global-food-fraud>

Glosario

Adulteración: La adulteración de alimentos es el acto de degradar intencionadamente la calidad de los alimentos puestos a la venta, ya sea por la mezcla o sustitución de sustancias inferiores o por la eliminación de algún ingrediente valioso.

Bioterrorismo: El uso, o amenaza de uso, de la liberación de virus, bacterias u otros gérmenes (agentes) para causar enfermedad o muerte en personas, animales o plantas.

Enfermedad crónica: afección que dura mucho tiempo (meses o incluso años) y requiere atención médica continua o limitación de las actividades cotidianas, o ambas cosas.

Agricultura familiar: una explotación agraria propiedad de una familia y/o explotada por ésta. Las empresas agrícolas familiares pueden adoptar muchas formas, desde pequeñas explotaciones agrícolas hasta explotaciones más grandes explotadas con prácticas agrícolas intensivas. **Seguridad alimentaria:** cuando todas las personas tienen en todo momento acceso

Un marco educativo en microbiología

físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas y sus preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana.

Forense: La ciencia forense es un elemento del sistema de justicia penal. En la investigación forense de alimentos, las investigaciones de los científicos forenses tienen como objetivo determinar dónde y cuándo se ha producido la contaminación de los alimentos, identificar el tipo de contaminante y su fuente, e identificar manchas y olores extraños y sus fuentes.

Genómica: El estudio de los genes y su función.

Microbioma: Este término se refiere a todo el hábitat, incluidos los microorganismos (bacterias, arqueas, eucariotas inferiores y superiores, y virus), sus genomas (es decir, genes) y las condiciones ambientales circundantes.

Microbiota: Conjunto de microorganismos presentes en un entorno definido.

Secuenciación del ADN: Determinación del orden de los nucleótidos (secuencias de bases) en la molécula de ADN **Secuenciación masiva del ADN:** método de alto rendimiento utilizado para determinar una porción de la secuencia de nucleótidos de una muestra de ADN dada.