

Ventajas y desventajas del cultivo de carne *in vitro*: perspectivas desde la seguridad alimentaria

Andrés Cartín-Rojas¹ / Priscila Ortiz²

Resumen

Los modelos tradicionales de producción animal suponen un gran costo ambiental y económico. También existen consideraciones éticas alrededor del bienestar animal con base en ciertos esquemas productivos. Estos aspectos, junto al hecho del incremento esperado en la demanda de proteína animal, paralelo al crecimiento poblacional para 2050, obligan a la industria cárnica y al sector agropecuario a buscar técnicas alternativas de producción animal. La carne cultivada parece ser una opción viable y plausible para resolver muchos de estos retos. El artículo aborda el tema de la ingeniería de tejidos, enfocado en las ventajas y desventajas de la producción *in vitro*, como una posible línea de investigación futura para paliar el hambre y la inseguridad alimentaria de forma ambientalmente sostenible.

Palabras clave: células madre, carne, ingeniería de tejidos, seguridad alimentaria.

- 1 Doctor médico veterinario. MS cátedra de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ingeniería Agronómica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
✉ acartin@outlook.com
hermogenes.chamba@unl.edu.ec
- 2 Doctor médico veterinario. Laboratorio Veterinario Innova-Células Madre, San José, Costa Rica.
✉ innovacelulasmadre@gmail.com

Cómo citar este artículo: Cartín-Rojas A, Ortiz P. Ventajas y desventajas del cultivo de carne *in vitro*: Perspectivas desde la seguridad alimentaria. Rev Med Vet. 2018;(36):135-144. doi: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.5179>

Advantages and disadvantages of *in vitro* meat production: Food safety perspectives

Abstract

The traditional models of animal production imply a great environmental and economic cost. There are also ethical considerations around animal welfare based on certain production schemes. These aspects, together with an expected increase in the demand for animal protein, parallel to population growth by 2050, have forced the meat industry and the agricultural sector to look for alternative techniques of animal production. Cultured meat seems to be a viable and plausible option to solve many of these challenges. The article addresses the issue of tissue engineering, focusing on the advantages and disadvantages of *in vitro* production, as a possible line for future research, to alleviate hunger and food insecurity in an environmentally sustainable manner.

Keywords: stem cells, meat, tissue engineering, food safety.

Vantagens e desvantagens do cultivo de carne *in vitro*: perspectivas desde a segurança alimentar

Resumo

Os modelos tradicionais de produção animal supõem um grande custo ambiental e econômico. Também existem considerações éticas em quanto ao bem-estar animal com base em certos esquemas produtivos. Estes aspectos, junto ao fato do incremento esperado na demanda de proteína animal, paralelo ao crescimento populacional para 2050, obrigam a indústria de carnes e o setor agropecuário a buscar técnicas alternativas de produção animal. A carne cultivada parece ser uma opção viável e plausível para resolver muitos destes desafios. O artigo aborda o tema da engenharia de tecidos, com foco nas vantagens e desvantagens da produção *in vitro*, como uma possível linha de pesquisa futura para paliar a fome e a insegurança alimentar de forma ambientalmente sustentável.

Palavras chave: células-mãe, carne, engenharia de tecidos, segurança alimentar.

INTRODUCCIÓN

Las células madre troncales mesenquimales (MSC) son células indiferenciadas que poseen múltiples capacidades. En este artículo se hace hincapié en su multipotencialidad demostrada *in vitro*, es decir, en la capacidad de diferenciarse en diversos tipos de tejidos al ser cultivadas. Debido a su potencial en la reparación de tejidos, las MSC se han venido utilizando como tratamiento de diversas patologías degenerativas, especialmente en campos como ortopedia, cardiología, dermatología, entre otros. En el campo de la medicina regenerativa hay diversas ramas; una de ellas es la ingeniería de tejidos, que dentro de sus múltiples alcances tiene el desarrollo de diferentes líneas celulares.

Recientemente, el cultivo de miocitos y demás componentes celulares asociados al músculo estriado esquelético (adipocitos, endotelio vascular, etc.) se perfila como una opción viable para la producción de proteína animal *in vitro*. La carne cultivada, como se le conoce al conjunto celular producido mediante este tipo de procedimientos, posee múltiples ventajas cuando se compara con los sistemas tradicionales de producción de proteína animal.

Tomando en cuenta que la demanda de alimentos y la población mundial que necesita ser alimentada incrementarán en las próximas décadas, estas técnicas poseen múltiples ventajas que se expondrán más adelante en este texto. Sin embargo, lo incipiente y costoso de los procedimientos junto a otros aspectos de índole socioeconómica de los sectores productivos hace que estas técnicas biotecnológicas alternativas aún no sean viables para permitir una producción a gran escala.

Este artículo pretende inducir al lector en este tema de gran envergadura, y analizar las posibles ventajas y desventajas de esta incipiente pero innovadora y prometedora técnica científica, como opción para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria.

INGENIERÍA DE TEJIDOS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

La seguridad alimentaria involucra cuatro pilares fundamentales: 1) suministro óptimo a los alimentos, 2) acceso a ellos en las cantidades fisiológicamente necesarias, 3) aprovechamiento biológico de los nutrientes y 4) consumo idóneo de los alimentos de acuerdo

con una perspectiva religiosa o cultural. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que 843 millones de seres humanos en el mundo sufren de hambre y malnutrición crónica (1). Cerca de 1000 millones de personas poseen un inadecuado consumo diario de proteínas. Existe una proyección de crecimiento demográfico de 9000 millones de habitantes para 2050. En las próximas décadas la producción de proteína animal también deberá aumentar para suplir la demanda existente, por lo cual deberá alcanzar las 206 millones de toneladas anuales para los próximos 35 años (2).

En el caso específico de Latinoamérica, se estima que para 2016 cerca de 43 millones de personas padecieron episodios de inseguridad alimentaria (3). Paradójicamente, el continente americano es uno de los principales actores en cuanto a la producción de insumos de origen animal (carne vacuna e insumos lácteos esencialmente). Si bien los valores de producción promedio por país superan tanto la demanda de alimentos como el crecimiento medio poblacional, cabe entonces preguntarse por qué existe un sector social, claramente establecido en América Latina, que se encuentra bajo los insidiosos efectos del hambre y la malnutrición.

En gran medida, esto es el resultado de los altos costos de los alimentos expendidos en la región; muchos de ellos poseen un precio dolarizado y son importados. Adicionalmente, un alto porcentaje de los insumos producidos es exportado como *commodities* pecuarias. Se calcula que el consumo de fuentes proteicas de origen animal actualmente es mayor en países en desarrollo, en donde cerca del 70% de los aminoácidos biodisponibles ingeridos en la dieta proceden de fuentes animales. Esto contrasta con el 35% de los países en vías en desarrollo (2).

La solución al problema según algunos teóricos de la seguridad alimentaria (4,5) radica en fomentar la soberanía alimentaria, es decir, tener la capacidad de producir nuestros propios alimentos. Sin embargo, para algunos países que no poseen la tecnificación, el financiamiento, el espacio territorial disponible o que no basan sus modelos económicos en un sistema de encadenamiento

agroproductivo, esto resulta un serio inconveniente. Se suma además la capacidad de adaptación, mitigación y resiliencia que los países tengan en cuanto a los efectos del cambio climático en las próximas décadas sobre la seguridad alimentaria de sus habitantes (aclimatación y ampliación de la base genética de forrajes, prevención y control de plagas animales, etc.).

La necesidad de buscar alternativas viables para la producción y masificación de insumos cárnicos en las próximas décadas radica en:

- a) Aumento en la demanda de proteínas dietarias de alta calidad, digestibilidad y valor biológico por parte de los consumidores (principalmente en países en vías de desarrollo). Por ejemplo, la ingesta de carne para 2013 fue en promedio de 40 kg/anuales/persona y se espera un incremento del 29% para alcanzar los 51,5 kg/anuales/persona en 2050, lo cual significa un aumento de la producción mundial de los 288 millones de toneladas anuales actuales a 494 millones para ese momento (2).
- b) Disminución progresiva pero sustancial en las porciones de tierra viables para su uso en la producción animal extensiva (6).
- c) Preocupación de diversos sectores sociales hacia el impacto negativo de la ganadería sobre el medio ambiente (uso excesivo de agua, tierra y energía por parte de la ganadería extensiva) (7).
- d) Aspectos éticos del sector industrial y la sociedad civil relacionados con el aseguramiento del bienestar animal (8).
- e) Necesidad creciente por parte de la industria cárnica para innovar, generando productos que permitan el máximo aprovechamiento de la materia prima y cumplan con las expectativas del público en torno a ser saludables e inocuos (9).
- f) Exigencia de distintos actores sociales y políticos, para que se faciliten la competitividad y comercialización a lo largo de la cadena agroproductiva, de forma que los productos cárneos se posicionen mejor en los mercados locales y globales (10).
- g) Importancia de evitar la transmisión de enfermedades de transmisión alimentaria (ETA) y de asegurar

- la autenticidad de los productos de origen animal frente a potenciales casos de fraude alimentario (11).
- h) Necesidad creciente de disminuir el uso y aparición de resistencia antibacteriana y antiparasitaria en fármacos de uso veterinario (12).
 - i) Interés de diversos sectores sociales por disminuir la presión sobre los ecosistemas, lo cual se considera un factor cada vez más determinante en la aparición de enfermedades emergentes (13,14).
 - j) Indicios de que la producción pecuaria convencional puede desembocar en la merma de la calidad nutritiva de la carne (15). Lo anterior es un factor de vulnerabilidad para los sectores sociales más débiles ante la inseguridad alimentaria.

Desde esta perspectiva, la carne *in vitro* podría llegar a satisfacer las demandas de fuentes proteicas con alto valor nutricional y ser una importante aliada de la lucha contra el hambre y malnutrición que afecta a millones de personas en el mundo (16,17), debido a los beneficios relativos a inocuidad, sostenibilidad ambiental, bienestar animal, nutraceutica y lucha contra el fraude alimentario que posee. A continuación se detallan cada uno de estos beneficios.

BENEFICIOS DE LA CARNE CULTIVADA

Calidad diferenciada

La investigación en estrategias y mecanismos dirigidos a la mejora en la calidad de los productos de origen animal es una de las tendencias actuales que más ha calado en la comunidad científica. Dentro de estos campos de estudio, la biotecnología enfocada en el desarrollo y pluripotenciación de células madre con fines veterinarios y zootécnicos es uno de los campos académicos que puede tener una aplicación en la producción de alimentos (18). En este sentido, la elaboración de carne y sus derivados desarrollados en ambientes controlados permite: a) asegurar su inocuidad y autenticidad; b) generar productos libres de adulterantes; c) proveer alimentos sin la presencia de trazas o metabolitos de medicamentos que puedan propiciar la aparición de resistencias far-

macológicas, y d) eliminar la presencia de organismos patógenos que permiten la aparición de ETA. Lo anterior permitiría no solo una disminución significativa de los índices epidemiológicos de morbilidad y mortalidad para algunas zoonosis alimentarias, sino también disminuir riesgos de contaminación cruzada al proporcionar un mayor control del proceso productivo (19).

El hecho de poder generar ambientes controlados más inocuos y sanos en los que se puedan producir alimentos con ciertos estándares higiénicos es de vital importancia, no solo porque se controla la propagación de zoonosis alimentarias, sino además porque los consumidores están cada vez más conscientes sobre lo que ingieren, por lo que las tendencias de mercado en el sector agroindustrial deben ir dirigidas al cumplimiento de estos requisitos.

Sostenibilidad ambiental

Hoy en día se calcula que cerca del 30% de la superficie del planeta se utiliza para la agricultura. De ella el 70% es utilizada en ganadería extensiva (20). Adicionalmente, se estima que el sector de ganadería consume cerca del 8% del agua dulce disponible para riego u otras actividades similares; ocupa hoy en día cerca un tercio de total de superficie terrestre y contribuye con cerca del 18% del total de gases efecto invernadero generados anualmente.

Por si fuera poco, la calidad y cantidad de músculo producido por los animales destinados al consumo animal depende de factores como manejo, edad, raza, etc. (21,22). Esto ocasiona que la producción de carne con los estándares productivos tradicionales sea altamente ineficiente en el sentido de que se necesitan grandes cantidades de terreno, recursos naturales (agua, forrajes, etc.) y alimento para producir 1 kg de carne (19). Una versatilidad de esta técnica biotecnológica es el relativo poco tiempo que se necesita para la producción de tejido muscular, en comparación con los esquemas productivos tradicionales.

Desde una óptica ambiental, una reducción del número de cabezas de ganado a consecuencia de la producción

de carne *in vitro* disminuiría drásticamente el porcentaje de tierra utilizada para estos fines, lo cual permitiría una mejor gestión y control sobre las áreas protegidas al minimizar la presión ganadera sobre ellas y reducir la emisión de gases efecto invernadero (GEI), asociados a la ganadería bovina. Actualmente, se estima que cerca del 34 % de las emisiones de GEI se asocian con la deforestación para generar terrenos propicios para la ganadería; el 25 %, a la emisión animal de metano, y el 31 %, a derivados de la producción de fertilizantes orgánicos empleados en el crecimiento de forrajes para la nutrición animal (23).

Datos de diversos estudios estiman que el cultivo artificial de tejido carneo, a escala industrial, generaría una disminución en 99 % del terreno, 95 % del agua, 96 % en GEI y 45 % de la energía total hoy en día utilizada en la ganadería convencional (17). Existe también la ventaja de poder producir artificialmente la carne de animales exóticos y en vías de extinción, de libre venta como una contramedida para evitar la caza furtiva de estas especies, lo que aseguraría su preservación y supervivencia (24).

La porción de tierra actualmente utilizada para el crecimiento de cultivos destinados a la alimentación animal con fines ganaderos y la cantidad de agua destinada a esta es también abundante y posee un profundo impacto negativo sobre el ambiente. Esto ocasiona, entre otras cosas, una disminución de los volúmenes de este líquido vital, la erosión de los suelos y la pérdida de biodiversidad. Por tanto, la implementación de sistemas emergentes para fabricar proteínas animales de forma más eficiente y sostenible tendrá un impacto sustancial para poder cumplir con las políticas públicas de seguridad alimentaria, y la mitigación y adaptación al cambio climático en años futuros en los distintos países.

Bienestar animal

Las condiciones nefastas y ampliamente criticables que reciben muchas especies productivas durante su crianza y faenamiento se eliminarían. Así mismo, la calidad de los productos de origen animal que muchas veces es cuestionada debido la liberación de metabolitos hormo-

nales producto del estrés durante la producción intensiva, o asociados a la ausencia de condiciones de bienestar animal durante el transporte y sacrificio de los animales, mejoraría de forma sustancial (25).

Paralelamente, la elaboración de tejidos por medios biotecnológicos permitiría un mayor volumen de producción en menor tiempo. En países en desarrollo donde ciertos sectores sociales poseen un limitado acceso a las fuentes proteicas de origen animal, una mayor disponibilidad de insumos cárneos en el mercado local podría traducirse en la posibilidad de adquirir un producto nutricional básico a un menor costo (26).

Nutracéutica

El tejido muscular y los derivados de este proveen importantes porcentajes de nutrientes esenciales (27). Los aminoácidos presentes en el músculo esquelético de los animales presentan una mayor tasa de biodigestibilidad que las proteínas obtenidas de fuentes no animales. Se estima que el porcentaje promedio de proteína de la carne cruda producida por medios tradicionales es aproximadamente el 20 %, y que 100 g de porción de carne cocida suplen el 50 % de los requerimientos nutricionales diarios (28).

La biotecnología es una herramienta sumamente útil que permite mejorar las características de calidad de los alimentos, entre las que se incluye su valor nutricional (29). Desde la perspectiva de la nutrición saludable, la ingeniería de tejidos, y específicamente el cultivo de carne *in vitro*, permite ejercer un control sobre los porcentajes de composición de ácidos grasos, el contenido de grasa saturada, la proporción de ácidos grasos poliinsaturados, la proteína y los micronutrientes esenciales como el hierro, al colaborar con la estandarización de porcentajes de estos elementos en los tejidos cárnicos expendidos a los consumidores. Este punto toma especial importancia debido a que los decesos por enfermedades cardiovasculares, asociadas a una dieta e ingesta inadecuada de altos volúmenes de grasas saturadas de origen animal son una de las principales causas de muertes en países con rentas medias y bajas (24).

Fraude alimentario

Es de esperarse que la demanda en insumos cárnicos aumente en el futuro, a consecuencia de un incremento poblacional paralelo. La industria cárnica, debido a los recientes episodios de fraude alimentario, ha estado bajo escrutinio público. Desde este punto de vista, los productos elaborados a partir de biotecnologías emergentes ofrecen una alternativa para asegurar la autenticidad de un producto, ya que disminuyen marcadamente las posibilidades de que este sea fraudulento o se encuentre adulterado. Con respecto al consumidor, la certeza de que el alimento adquirido y consumido es en realidad lo que se compra mejora bastante su aceptación. Esto se traduce en un aumento sustancial de la confiabilidad y la competitividad de la industria cárnica (30), así como una disponibilidad y acceso a alimento de alta calidad.

EL LADO OSCURO DE LA CARNE CULTIVADA

Desde el punto de vista del mecanismo de cultivo de la carne *in vitro*, es necesaria la mejora en ciertos aspectos básicos para obtener un cultivo celular óptimo. Existen tres etapas importantes en la reproducción de MSC (31):

- a) *Selección de la línea celular*: no todas las líneas celulares tienen los mismos requisitos o protocolos de cultivo. Esto hace más factible y económicamente más rentable cultivar líneas celulares específicas con alto potencial de reproducción y multiplicación.
- b) *Diferenciación celular*: si bien es cierto que la ingeniería de tejidos ha avanzado a pasos agigantados durante las recientes décadas, existe la necesidad de mejorar, haciendo más específica y rápida la diferenciación celular específica en las células cultivadas *in vitro*.
- c) *Cultivo celular*: también es importante lograr generar la multiplicación y potencialización de distintos grupos celulares que crezcan en conjunto bajo un nicho ambiental artificialmente controlado, para que el producto final se asemeje lo más posible al producto deseado.

Sin embargo, la masificación de la biotecnología de tejidos con fines paliativos alrededor de la seguridad alimentaria aún es rudimentaria e incipiente, debido a que actualmente la industria de carne cultivada requiere altos índices de tecnificación y de conocimiento científico en el área biotecnológica animal, lo cual hoy en día es insuficiente o inexistente en muchos países en desarrollo (32,33).

Otra desventaja es la percepción, por parte del consumidor, hacia la metodología de producción, al poder considerarla incorrecta desde una óptica ética y cultural (34). Esto se debe a que la instauración de sistemas biotecnológicos de producción masiva representaría, en primera instancia, un fuerte impacto económico y social para aquellas personas o sectores que dependen de la ganadería tradicional e industrias afines (nutrición animal, medicina veterinaria y diversos segmentos comerciales que integran la cadena de valor) (26), y los reemplazaría por métodos más intrincados de producción. A esto se le suma la inclusión y adopción de un nuevo hábito social de consumo por parte de la población (35). Estas son, sin duda, limitantes que tendrá que sortear la carne cultivada en el futuro para poder conquistar a los consumidores y abrirse camino en los mercados agroalimentarios cada vez más complejos.

Así mismo, está la aceptabilidad del consumidor hacia el producto. Diversos estudios (36,37) indican que una mayoría de los encuestados estarían dispuestos a probar la carne cultivada en primera instancia. El consumo de estos productos de acuerdo con estos estudios depende de una múltiple variedad de factores. No obstante, lograr obtener un producto elaborado en un laboratorio y que pueda imitar fehacientemente las características nutritivas, fisicoquímicas y organolépticas de su contraparte producida de forma natural (38) permanece como una importante restricción a la recepción por parte de los consumidores.

En este sentido, es importante acotar que las características organolépticas y fisicoquímicas deseadas para replicar (sabor, color, olor, textura, etc.), el lograr recrear artificialmente toda su estructura microscópica (fibro-

blastos, miocitos, tejido conectivo adipocitos, vasos sanguíneos y linfático, etc.), así como mantener niveles mínimos requeridos de nutrientes esenciales son tal vez los pasos más difíciles de obtener en el producto final. Sin duda, es necesaria la implementación de más estudios científicos (y la financiación de estos) para poder desarrollar un producto idóneo desde una perspectiva de calidad, el cual contenga porcentajes óptimos de micronutrientes y una distribución celular uniforme, para proporcionar color, sabor y valor nutricional idéntico a la carne obtenida por procesos tradicionales.

Dentro de los impedimentos actuales de producir carne *in vitro* está el hecho de que la ingeniería de tejidos es actualmente muy onerosa. El costo de lograr producir una onza de carne cultivada se calculó en \$50.000 (39). Sin duda, uno de los principales retos de esta moderna técnica biotecnológica es el lograr optimizar la producción de carne *in vitro* a gran escala, pero a un bajo costo productivo para la industria cárnica y de accesible valor adquisitivo para los consumidores.

En años recientes han surgido consorcios entre la industria cárnica y el sector científico de países como China, Israel, Holanda y Estados Unidos para financiar investigaciones y lograr comercializar la carne cultivada. Se espera que a mediano plazo (10 años) sea viable producir fibras musculares artificialmente a un costo similar a la contraparte producida de forma orgánica (unos \$12 por kg) (40).

CONCLUSIONES

La carne *in vitro* podría llegar a satisfacer las demandas de fuentes proteicas con alto valor nutricional y ser un importante aliado en la lucha contra el hambre y la malnutrición que afectan a millones de personas en el mundo. Entre las razones para utilizar la ingeniería de tejidos como un modelo productivo alternativo, altamente viable y plausible en comparación con la producción convencional de carne, se encuentran: el bienestar animal, mayor control del proceso productivo, sostenibilidad

ambiental y un mejoramiento de la calidad e inocuidad del producto final.

La carne cultivada *in vitro* a partir de MSC permite maximizar espacios de producción menores a los utilizados actualmente. Una adecuada implementación de esta metodología podría generar una mayor disminución de costos asociados a la nutrición animal y permitir la producción de carne con la composición celular y de nutrientes acorde con la preferencia comercial o necesidad clínica del consumidor.

El costo actual del cultivo de carne *in vitro* es, sin embargo, la mayor limitante para la generalización a gran escala de esta tecnología. Por tanto, es necesario una mayor inversión e investigación científica alrededor del tema para que este sea más accesible.

Es importante señalar también que desde 2015 la Organización de las Naciones Unidas propuso la adopción de metas para mejorar la calidad de vida de la población, conocidas como los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La aceptación y promoción a gran escala de biotecnologías como el cultivo de carne *in vitro* podría llegar a convertirse en un mecanismo para consolidar la implementación de distintos Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre los cuales se destacan: 1) disminuir la inseguridad alimentaria, 2) lograr una producción y consumo responsable de alimentos, 3) fortalecer e implementar programas que consoliden la sostenibilidad ambiental y 4) mejorar la calidad de vida de las personas por medio de la reducción de algunas enfermedades no transmisibles (cardiovasculares esencialmente), mediante la optimización artificial en los índices de magreza de la carne *in vitro* y sus derivados.

El potencial de estas técnicas es palpable en el resguardo de la sostenibilidad biológica de los ecosistemas y la salvaguarda del bienestar animal, comúnmente asociado de forma negativa a los sistemas pecuarios, y en la salud pública, lo que asegura la producción de alimentos con altos estándares de higiene y la disposición de alimentos funcionales que podrían sustituir muchos de los medi-

camentos que hoy en día se utilizan para el tratamiento de dolencias crónicas en seres humanos. Por lo que en el mediano plazo la utilización de la medicina regenerativa en la producción animal podría dejar de ser una utopía.

Los países latinoamericanos en los cuales los sistemas de exportación se basan en gran medida en la comercialización de insumos de origen animal (Chile, Argentina, Brasil, Colombia, etc.) tienen un increíble potencial para su implementación. No podemos volver la mirada a estas tecnologías emergentes, que se perfilan como una solución viable y sostenible a las crisis alimentarias asociadas a la disminución en el acceso a fuentes proteicas en sectores socialmente vulnerables, las cuales están vinculadas con los efectos cada vez más palpables del cambio climático.

REFERENCIAS

- Ghosh S, Suri D, Uauy R. Assessment of protein adequacy in developing countries: quality matters. *Brit J Nutr.* 2012; 108(supl. 2):S77-87. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002577>
- Wu G, Fanzo J, Miller D, Pingali P, Post M, Steiner J, Thalacker-Mercer A. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations. *Ann N Y Acad Sci.* 2014;1321:1-19. <https://doi.org/10.1111/nyas.12500>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe [internet]. 2017 [citado 2017 oct 28]. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/docs/panorama2017/PANORAMA_2017.pdf
- Wald N, Hill D. 'Rescaling' alternative food systems: from food security to food sovereignty. *Agric Hum Values.* 2016;33(1):203-13. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9623-x>
- Weiler A, Hergesheimer C, Brisbois B, Wittman H, Yassi A, Spiegel J. Food sovereignty, food security and health equity: a meta-narrative mapping exercise. *Health Policy Plan.* 2015;30(8):1078-92. <https://doi.org/10.1093/heapol/czu109>
- D'Odorico P, Carr J, Laio F, Ridolfi L, Vandoni S. Feeding humanity through global food trade. *Earth's Future.* 2014;2(9):458-69. <https://doi.org/10.1002/2014EF000250>
- Jönsson, E. Benevolent technotopias and hitherto unimaginable meats: Tracing the promises of in vitro meat. *Soc Stud Sci.* 2016;46(5):725-48. <https://doi.org/10.1177/0306312716658561>
- Stephens N, Ruivenkamp M. Promise and ontological ambiguity in the in vitro meat imagescape: from laboratory myotubes to the cultured burger. *Sci Cult (Lond).* 2016;25(3):327-55. <https://doi.org/10.1080/09505431.2016.1171836>
- Godfray H, Garnett T. Food security and sustainable intensification. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2014;369(1639):1-10.
- Henchion M, McCarthy M, Resconi V, Troy D. Meat consumption: trends and quality matters. *Meat Sci.* 2014;98(3):561-8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.007>
- Sentandreu M, Sentandreu E. Authenticity of meat products: Tools against fraud. *Food Res Int.* 2014;60:19-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.030>
- Lammie S, Hughes J. Antimicrobial resistance, food safety, and one health: the need for convergence. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2016;7:287-312. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033251>
- Filippitzi M, Goumperis T, Robinson T, Saegerman C. Microbiological zoonotic emerging risks, transmitted between livestock animals and humans (2007-2015). *Transbound Emerg Dis.* 2017;64(4):1059-70. <https://doi.org/10.1111/tbed.12484>
- Russell R, Katz R, Richgels K, Walsh D, Grant E. A framework for modeling emerging diseases to inform management. *Emerg Infect Dis.* 2017;23(1):1-6. <https://doi.org/10.3201/eid2301.161452>
- Arshad M, Javed M, Sohaib M, Saeed F, Imran A, Amjad Z. Tissue engineering approaches to develop cultured meat from cells: A mini review. *Cogent Food Agric.* 2017;3(1):1320814. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1320814>

16. Bhat Z, Fayaz H. Prospectus of cultured meat-advancing meat alternatives. *J Food Sci Tech*. 2011;48(2):125-40. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0198-7>
17. Van der Weele C, Clemens D. Emerging profiles for cultured meat; ethics through and as design. *Animals*. 2013;3(3):647-62. <https://doi.org/10.3390/ani3030647>
18. Pérez-Serrano R, Ramírez-Espinoza J, Shimada A, Antaramian A, Piña E, Mora O. Células troncales mesenquimales: biología, caracterización y futuras aplicaciones en salud y producción de especies domésticas y pecuarias. Parte II. *Agrociencia*. 2012;46(6):543-55.
19. Ford J. Impact of cultured meat on global agriculture. *World Agricult*. 2011;2(2):43-6.
20. Langelaan M, Boonen K, Polak R, Baaijens F, Post M, van der Schaft D. Meet the new meat: tissue engineered skeletal muscle. *Trends Food Sci Tech*. 2010;21(2):59-66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.11.001>
21. Da Costa E, Restle J, Brondani I, Perottoni L, Faturi C, Menezes L. Composição física da carcaça, qualidade da carne e conteúdo de colesterol no músculo longissimus dorsi de novilhos red angus superprecoces, terminados em confinamento e abatidos com diferentes pesos. *Rev Bras Zootec*. 2002;31(supl. 1):417-28. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000200017>
22. Salifou C, Dahouda M, Houaga I, Picard B, Hornick J, Micol D, et al. Muscle characteristics, meat tenderness and nutritional qualities traits of borgou, lagunaire and zebu fulani bulls raised on natural pasture in Benin. *Int J Anim Vet Adv*. 2013;4(5):143-55.
23. Tuomisto H, Texeira J. Environmental impacts of cultured meat production. *Environ Sci Technol*. 2011;45(14):6117-23. <https://doi.org/10.1021/es200130u>
24. Bhat Z, Bhat H. Tissue engineered meat-future meat. *J Stored Prod Postharvest Res*. 2011;2(1):1-10.
25. Carruth A. Culturing food: bioart and in vitro meat. *Parallax*. 2013;19(1):88-100. <https://doi.org/10.1080/13534645.2013.743296>
26. Mattick CS, Allenby BR. (2012). Cultured meat: The systemic implications of an emerging technology. En *IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*. 2012 [6228020]. DOI: 10.1109/ISSST.2012.6228020 <https://doi.org/10.1109/ISSST.2012.6228020>
27. De Smet S, Vossen E. Meat: the balance between nutrition and health. A review. *Meat Sci*. 2016;120:145-56. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.008>
28. Boler D, Woerner D. What is meat? A perspective from the American Meat Science Association. *Anim Front*. 2017;7(4):8-11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0436>
29. Pal M, Patel A, Bariya A, Godishala V, Kandi V. A review of biotechnological Applications in Food Processing of Animal Origin. *Am J Food Sci Tech*. 2017;5(4):143-8.
30. Goodwin J, Shoulders C. The future of meat: a qualitative analysis of cultured meat media coverage. *Meat Sci*. 2013;95(3):445-50. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.027>
31. Noor S, Radhakrishnan N, Hussain K. Newer trends and techniques adopted for manufacturing of In vitro meat through “tissue-engineering” technology: a review. *Int J Biotech Trends Tech*. 2016;19:14-9. <https://doi.org/10.14445/22490183/IJBTT-V19P604>
32. Post M. Cultured meat from term cells: challenges and prospects. *Meat Sci*. 2012;92(3):297-301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>
33. Hocquette J. Is in vitro meat the solution for the future? *Meat Sci*. 2016;120:167-76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.036>
34. Verbeke W, Marcu A, Rutsaert P, Gaspar R, Seibt B, Fletcher D, Barnett J. A. ‘Would you eat cultured meat?': Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat Sci*. 2015;102:49-58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.013>
35. Vital A, Kempinski E, de Moraes Pinto L, Nascimento K, Alexandre S, do Prado I. Produção de carne in vitro: nova realidade da sociedade moderna. *PUBVET*. 2017;11(9):840-7. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n9.840-847>
36. Verbeke W, Sans P, Van Loo E. Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat. *J Integr Agr*. 2015;14(2):285-94. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60884-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60884-4)
37. Wilks M, Phillips C. Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States. *PLoS*

- One. 2017;12(2):e0171904. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171904>
38. Laestadius L, Caldwell M. Is the future of meat palatable? Perceptions of in vitro meat as evidenced by online news comments. *Public Health Nutr.* 2015;18(13):2457-67. <https://doi.org/10.1017/S1368980015000622>
39. Bartholet J. Inside the meat lab. *Sci Am.* 2011;304(6):64-69. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0611-64>
40. Heffernan O. Sustainability: a meat issue. *Nature.* 2017;544:S18-S20. <https://doi.org/10.1038/544S18a>