


Transformación y agroindustria

Artículo de investigación científica y tecnológica

Prospectiva de la ingeniería agroindustrial en Iberoamérica al 2035: aplicación de la metodología de escenarios y el método Delphi

Prospective of Agroindustrial Engineering in Ibero-America to 2035: Application of the scenario methodology and the Delphi method

 Jhon Wilder Zartha Sossa ^{1*}  Juan Carlos Palacio Piedrahita ¹  Gina Lía Orozco Mendoza ¹
 Carlos Augusto Hincapié Llanos ¹  Andrés Felipe Ríos Mesa ¹  Catalina Álvarez López ¹

¹ Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

*Autor de correspondencia: Jhon Wilder Zartha Sossa. Universidad Pontificia Bolivariana, circular 1A #70-01, Laureles, Medellín, Antioquia. jhon.zartha@upb.edu.co

Recibido: 06 de octubre de 2021
Aprobado: 25 de enero de 2023
Publicado: 30 de marzo de 2023

Editor temático: Leonardo Alonso, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Para citar este artículo: Zartha Sossa, J. W., Palacio Piedrahita, J. C., Orozco Mendoza, G. L., Hincapié Llanos, C. A., Ríos Mesa, A. F., & Álvarez López, C. (2023). Prospektiva de la ingeniería agroindustrial en Iberoamérica al 2035: aplicación de la metodología de escenarios y el método Delphi. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2743. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2743

Resumen: La ingeniería agroindustrial es una rama de la ingeniería que estudia el aprovechamiento integral de los recursos biológicos para su uso alimentario y no alimentario, dándoles valor agregado por medio de diferentes procesos. El objetivo de este trabajo fue identificar variables clave, priorizar tecnologías, innovaciones, actores, alcanzables y escenarios para la ingeniería agroindustrial a 2035. Se utilizaron métodos y técnicas tales como análisis Pestal, matrices de impacto cruzado (Micmac), matrices traspuestas (Mactor), probabilidades simples, condicionadas positivas y negativas, moda, frecuencia modal y porcentajes de consenso. Entre los resultados más importantes se resalta la identificación de 295 temas como el uso de energías limpias en producción, microencapsulación, fraccionamiento de fluido supercrítico contracorriente, irradiadores uv no térmicos, sonicación, la priorización de tecnologías e innovaciones, tales como la inteligencia artificial, redes convolucionales, algoritmos genéticos, técnicas de lógica difusa con imágenes digitales, mejoramiento de suelos a través de microorganismos y reducción de la contaminación por bioprocesos. Se encontró la participación de 53 expertos de Chile, Perú, México, España y Colombia, 784 justificaciones, 200 problemáticas, 71 variables, 21 *drivers*, 9 actores, 7 objetivos de futuro, 64 escenarios y la elección de un escenario de apuesta. El uso de los resultados en la consolidación y actualización de proyectos curriculares de ingeniería agroindustrial podría considerar aspectos relacionados con nanotecnología, inteligencia artificial, sostenibilidad, genética, biotecnología y aprovechamiento de residuos, de tal manera que la vigencia de los contenidos este a la par de tecnologías convergentes.

Palabras clave: ingeniería agroindustrial, agronegocios, escenarios, método Delphi, estudios de futuro.

Abstract: Agroindustrial engineering is a branch of engineering that studies the integral use of biological resources for food and non-food use, giving them added value through different processes. The objective of this work was to identify key variables, prioritize technologies, innovations, actors, achievable and scenarios for agroindustrial engineering to 2035. Methods and techniques such as Pestal analysis, cross-impact matrices (Micmac), transposed matrices (Mactor), simple probabilities, positive and negative conditional probabilities, mode, modal frequency and consensus percentages were used. Among the most important results, the identification of 295 topics such as the use of clean energies in production, microencapsulation, countercurrent supercritical fluid fractionation, non-thermal UV irradiators, sonication, the prioritization of technologies and innovations, such as artificial intelligence, convolutional networks, genetic algorithms, fuzzy logic techniques with digital images, soil improvement through microorganisms and reduction of contamination by bioprocesses stand out. The participation of 53 experts from Chile, Peru, Mexico, Spain and Colombia, 784 justifications, 200 problems, 71 variables, 21 drivers, 9 actors, 7 future objectives, 64 scenarios and the choice of a betting scenario were found. The use of the results in the consolidation and updating of agroindustrial engineering curricular projects could consider aspects related to nanotechnology, artificial intelligence, sustainability, genetics, biotechnology and waste utilization, in such a way that the validity of the contents is on a par with converging technologies.

Keywords: agro-industrial engineering, agribusiness, scenarios, delphi method, future studies.



Introducción

La ingeniería agroindustrial está asociada a la conversión de los recursos agrícolas en productos con valor agregado, contribuyendo así al desarrollo agrícola y la innovación con el conocimiento que adquiere un egresado sobre ciencia e ingeniería, tecnología de alimentos y gestión empresarial para diseñar, ejecutar y evaluar importantes proyectos agroindustriales (USIL, 2018, citado por Zartha et al., 2019b).

Las facultades de ingeniería agroindustrial han buscado profundizar en sus procesos de direccionamiento estratégico con el fin de conocer cuáles serán los focos de interés a nivel académico, de investigación y transferencia en el sector agroindustrial, tanto a nivel nacional como internacional, por lo que han generado estudios de prospectiva que les permitan enfocar y alinear sus recursos y capacidades, así como como reducir la incertidumbre en la toma de decisiones. Un primer estudio de prospectiva de la ingeniería agroindustrial fue desarrollado por Zartha y Orozco (2008), con el fin de identificar y priorizar áreas, tecnologías y temas que deberían ser parte de los planes de estudio con un horizonte a 2020, sin embargo, se observa una falencia en el alineamiento de métodos y técnicas de la escuela o enfoque de escenarios en conjunto con el enfoque de consulta a expertos/*stakeholders* a través del método Delphi, que permita identificar y priorizar nuevas áreas de conocimiento, tecnología e innovaciones.

El artículo se divide en varias secciones, primero se presenta un marco teórico que hace énfasis en las características de los dos enfoques más robustos en estudios de futuro a nivel organizacional y en tecnología e innovación: escenarios-método Delphi y, posteriormente, se desarrolla la metodología en la cual se describen las fases de cada uno de los dos enfoques, para luego presentar los resultados haciendo énfasis en el enfoque de escenarios en variables clave: métodos Micmac o Mactor y generación de escenarios por orden de probabilidad, mientras que en el enfoque de consulta a expertos a través del método Delphi se presentaron resultados detallados sobre ecuación de búsqueda utilizada en Scopus y técnicas estadísticas. Finalmente, se anexa una discusión y conclusiones del estudio.

Este artículo presenta los resultados del estudio prospectivo de la ingeniería agroindustrial a 2035, el cual tuvo como propósito aplicar métodos, técnicas y herramientas de estudios de futuro para la toma de decisiones en programas de formación en ingeniería en agroindustria con dos objetivos: el primero, identificar tecnologías, innovaciones y temas que puedan ayudar a actualizar y repensar el plan de estudios y generar nuevas apuestas investigativas; el segundo, conocer las variables clave, objetivos y generar escenarios futuros para que las personas que dirigen estos programas puedan reducir la incertidumbre en la toma de decisiones.

Los escenarios son una visión de un posible estado futuro del mundo y su entorno relevante (Graham et al., 2015). La palabra escenario fue introducida en los estudios de futuro y en el lenguaje común de la gestión hace más de un cuarto de siglo atrás, en su libro *The Year 2000*. Los escenarios son una rica descripción de un futuro posible construido para explorar cómo se podría desarrollar una innovación tomando supuestos particulares (Drew, 2006). El término se asoció con la imaginación aplicada a cualquier predicción color de rosa o apocalíptica. En Francia, la metodología de escenarios se aplicó por primera vez por la Delegación Interministerial para la

Ordenación del Territorio y la Competitividad (Diact). En Estados Unidos, investigadores como Gordon y Helmer (1964) y Dalkey y Helmer (1951) desarrollaron varios métodos formales para la construcción de escenarios. La mayoría se basan en el asesoramiento u opinión de expertos y matrices de impacto cruzado. La técnica de escenarios ha ganado popularidad y se considera una de las técnicas centrales de la investigación contemporánea de futuros (Schatzmann et al., 2013). El método riguroso de elaboración de escenarios dominante en Francia utiliza herramientas desarrolladas principalmente para el análisis de sistemas, donde muchas de estas se desarrollaron en la década de 1970 en el centro de investigación Rand Corporation en Estados Unidos y más tarde en Francia.

El enfoque desarrollado por Godet y Monti (1997) en diversos puestos, con varios equipos en las últimas tres décadas, se distingue por usar una mezcla de herramientas de análisis de sistemas y procedimientos. Hay herramientas o métodos como la matriz de impacto cruzado - multiplicación aplicada a una clasificación (Micmac) que identifica las variables clave, la matriz de alianzas y conflictos: tácticas, objetivos y recomendaciones (Mactor) y el sistema de matrices de impacto cruzado - probabilidad de expertos (SMIC ProbExpert), el cual ayuda a determinar cómo serían factibles los escenarios. Los pasos usuales son el análisis de sistemas, el análisis retrospectivo, las estrategias de los actores y el bosquejar escenarios.

Dentro de la metodología original de escenarios desarrollada por Godet y Monti (1997), se encuentran varios métodos que colaboran con la generación de escenarios, el método Micmac tiene como objetivo identificar las variables clave, es decir, las de mayor motricidad y dependencia en la matriz de impacto cruzado MIC original que es contestada por los expertos o grupos de interés mediante calificaciones 0, 1, 2, 3 (donde 0 es influencia nula, hasta 3 que es la calificación de la más alta influencia) y potencial P, teniendo en cuenta la influencia de cada variable de la fila sobre cada variable de las columnas, de manera que la sumatoria de las filas está relacionada con la influencia o motricidad de la variables, mientras que la sumatoria de columnas está relacionada con la dependencia de las variables.

Cada variable tiene un indicador en motricidad y dependencia sobre todo el sistema, esto indica que cada variable tiene una posición en cada uno de los cuatro planos. Además, estas pueden estar en uno de los cinco sectores (variables motrices, de enlace, resultantes, del pelotón y excluidas) que se conforman en los cuatro cuadrantes. Dentro de la metodología se resalta el método Mactor, el cual por medio de actores y objetivos busca estimar la correlación de fuerzas que existe entre los actores y estudiar sus convergencias y divergencias con respecto a determinados retos y objetivos asociados.

Para finalizar y generar los escenarios por orden de probabilidad, la metodología cuenta con el método SMIC ProbExpert, el cual es de impactos cruzados de hipótesis simples (que fueron generadas a partir de las variables clave obtenidas en el método Micmac), donde las variables son contestadas por los expertos mediante un cuestionario para la calificación de 0 a 1 de hipótesis simples, condicionadas positivas y negativas que mediante el teorema de Bayes y los modelos de minimización cuadrática genera el grupo de escenarios posibles por orden de probabilidad.

En la actualidad existen diferentes estudios que trabajan con la metodología de escenarios y sus diferentes técnicas, tal es el caso de Jayyousi y Aldhmour (2022), Bootz *et al.* (2022), Spaniol y Rowland (2022) y Agyemang y Kwofie (2022).

El Delphi es un método tradicional de estudios de futuros que recopila las evaluaciones de un panel de expertos (González-Yebra *et al.*, 2019a) sobre tesis o argumentos específicos relacionados con el futuro mediante rondas de cuestionarios iterativos que se repiten al menos dos veces (Kuusi, 1999 y Mannermaa, 1991, citados por Auvinen *et al.*, 2012). De acuerdo con Reguant y Torrado (2016), el método presenta características cuantitativas y cualitativas, donde uno de los primeros trabajos que se llevaron a cabo fue el desarrollado en la Rand Corporation a finales de la década de 1950, como un medio eficaz para recopilar y sintetizar juicios de expertos. Desde que se publicó el primer estudio de la Rand en 1964, la técnica se ha utilizado con mucha frecuencia en un amplio espectro de temas.

Celiktas y Kocar (2010) mencionan cómo la aplicación del método Delphi en todo el mundo se ha concentrado en gran medida en el área de la gestión estratégica de grandes organizaciones (Cuhls, 2001). De acuerdo con Abend (2002), “el método Delphi propone una pregunta e invita a la opinión o solución a un grupo de expertos altamente calificados”, aunque en el enfoque clásico, este método permite una comunicación eficiente del grupo de expertos que permanecen en el anonimato entre sí, con el fin de resolver un problema complejo (Nazarko *et al.*, 2015).

Para Castelló-Tarrega y Callejo (2000), el método consiste en una consulta a un gran número de expertos de los sectores o temas específicos elegidos para el ejercicio, sobre la base de un cuestionario, preparado por paneles o comisiones de expertos, que se responde anónimamente y en dos o más rondas, así, el método Delphi permite sondear la opinión de expertos de sectores públicos y privados (González-Yebra *et al.*, 2019b). “Las opiniones, creencias y juicios son recopilados y organizados de manera sistemática que se centra principalmente en el consenso, pero también sobre las opiniones disidentes” (Steurer, 2011). Por ello, el método Delphi es el más utilizado por las organizaciones, su facilidad de uso y aplicabilidad lo convierten en un método que puede ser factible de complementar con otros (Figuerola *et al.*, 2012).

Varias técnicas para la aplicación del Delphi se han refinado en los últimos años, desde el uso de estadística descriptiva convencional hasta técnicas como cantidad de justificaciones o comentarios entre rondas, coeficiente para cuantificar la competencia o el grado de experticia de los participantes, medidas de la percepción del experto sobre la utilidad de la retroalimentación presentada, gráficos de la cantidad de argumentos de acuerdo con la cantidad de preguntas, prueba de pares clasificados de Wilcoxon, prueba de Kolmogórov-Smirnov y la prueba U de Mann-Whitney (Zartha *et al.*, 2019a).

En la actualidad existen diferentes estudios que llevan a cabo sus investigaciones bajo el método Delphi, tales como DeSouza *et al.* (2022), Lente y Peters (2022), Haan *et al.* (2022), Neumann *et al.* (2022), Fehr *et al.* (2022), Westland *et al.* (2022), Tamanni *et al.* (2022), Lu *et al.* (2022), Luoma *et al.* (2022) y García *et al.* (2022).

Para aportar en la reducción de la incertidumbre en la toma de decisiones, en la identificación de opciones futuras de la ingeniería agroindustrial y en la identificación de nuevos temas,

tecnologías e innovaciones para ser tenidas en cuenta en sus planes de estudio, se desarrolló esta investigación, la cual tuvo como objetivos identificar tecnologías, innovaciones, temas que puedan ayudar a actualizar el plan de estudios, así como generar nuevas apuestas investigativas y conocer las variables clave, objetivos y generar escenarios futuros, por lo que el estudio busca responder la siguiente pregunta: ¿qué tecnologías, innovaciones y nuevas áreas de conocimiento deberían hacer parte de los currículos de programas de ingeniería agroindustrial?

Materiales y métodos

A continuación, se presenta el método de escenarios con sus correspondientes fases y el método Delphi aplicado en dos rondas, las cuales fueron utilizadas en este estudio.

Método de escenarios

El método de escenarios se llevó a cabo en varias fases:

- **Fases 1, 2 y 3:** estuvieron constituidas por la identificación de problemas en los contextos político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal (Pestal) y la identificación y la priorización de variables a través del análisis estructural Micmac.
- **Fases 4, 5 y 6:** comprendieron el agrupamiento de las variables clave y la construcción preliminar de hipótesis simples, las cuales tuvieron como insumos los proyectos actuales, futuros y amenazas por cada variable o agrupador y el establecimiento de los estados excelente, bueno, regular y malo con indicadores cuantitativos.
- **Fases 7, 8 y 9:** en estas etapas se aplicaron los análisis de probabilidades simples, condicionadas positivas y condicionadas negativas, las cuales permitieron a través de SMIC Probexpert obtener los escenarios posibles en orden de probabilidad de mayor a menor. Esta última fase fue el insumo para elegir colectivamente el escenario de apuesta sobre el cual se plantea el alineamiento de los resultados del método Delphi a dos rondas.

A continuación, en la figura 1 se muestran las etapas del método de escenarios.

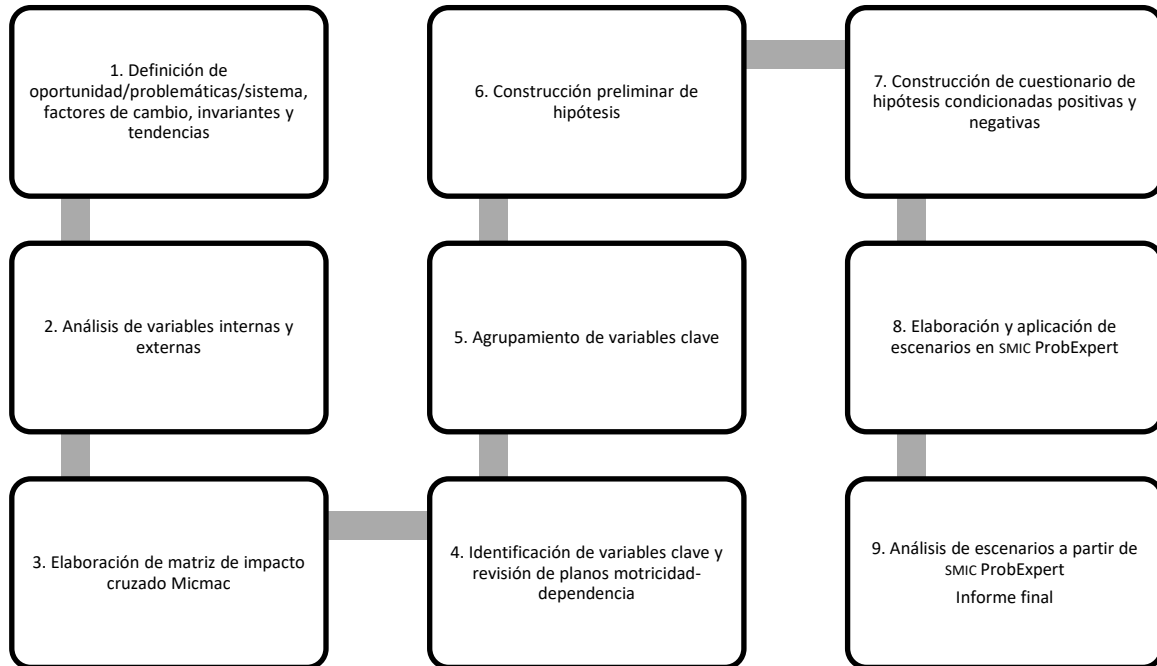


Figura 1. Etapas del método de escenarios

Fuente: Elaboración propia

Método Delphi

A continuación, se describen las fases del método Delphi:

Fase 1. Vigilancia tecnológica

Se desarrolló una revisión de literatura para la identificación de temas, innovaciones, tecnologías y nuevos negocios utilizando bases de datos científicas (Scopus), la cual se organizó en agrupadores con afinidad temática, esta fase generó como resultado el árbol temático/tecnológico.

Fase 2. Perfil de expertos

El perfil de los expertos que contestaron la encuesta en el marco del método Delphi se construyó de acuerdo con su relación con los temas y agrupadores definidos, nivel académico y años de experiencia. Se resaltó la importancia de que existiera un equilibrio entre expertos de universidades, empresas, Estado y entidades de interfaz, tales como centros de desarrollo tecnológico (CDT), centros de productividad, incubadoras de empresas y parques científicos y tecnológicos, entre otros.

Fase 3. Primera ronda Delphi

Se desarrolló un cuestionario con los temas y agrupadores obtenidos a partir de la vigilancia tecnológica, esta primera encuesta se envió a expertos/grupos de interés para que contestaran la prioridad de cada ítem a 2035 en escala Likert de 0 a 5, incluyendo la opción no sabe, no responde (NS/NR).

Respuestas de primera ronda

Después de haber enviado la primera ronda en un lapso de un mes como tiempo de espera para recibir las respuestas, se realizó el análisis estadístico con técnicas tales como media, moda, frecuencia modal (frecuencia modal 1 - FM1) y porcentaje de consenso.

Fase 4. Análisis de primera ronda e informe ejecutivo

Se estableció que un tema se consideraba como prioritario en la primera ronda si presentaba un valor de moda de 4 o 5 y un porcentaje de consenso superior al del promedio del agrupador temático, es decir, una moda alta de 4 o 5 y un promedio de consenso lo suficientemente alto como para sobrepasar el promedio del consenso del agrupador del cual hace parte. Los temas que presentan un valor de moda de 0, 1 o 2 con porcentaje de consenso mayor al promedio del agrupador se clasificaban como no prioritarios (esto significa moda baja y porcentaje de consenso altos sobre estas calificaciones). Los demás temas que no cumplieron con las anteriores condiciones fueron considerados temas en discusión, aquí se incluyen temas, tecnologías e innovaciones con moda 3 y cualquier consenso, moda 4 y 5 con consensos bajos y moda 0, 1 y 2, con consensos bajos.

Fase 5. Segunda ronda Delphi

La segunda ronda Delphi buscó retroalimentar a los participantes con los resultados obtenidos en la primera ronda, debido a que en esta etapa se le solicita al experto que al momento de diligenciar la encuesta revise el listado de temas prioritarios y los no prioritarios y en discusión, y que si lo considera conveniente cambie de posición los temas, tecnologías o innovaciones presentadas, es decir, puede pasar temas prioritarios al grupo de discusión y no prioritarios, también puede pasar temas del grupo de discusión y no prioritarios al grupo de prioritarios. Esta segunda ronda estuvo acompañada de un informe ejecutivo que buscaba ayudar al experto a la toma de decisiones sobre el posible cambio de temas.

Respuestas segunda ronda

Luego de cuatro meses de aplicación se recibió la segunda ronda Delphi debidamente diligenciada y se procedió a realizar el análisis estadístico donde se utilizan las técnicas estadísticas descritas para la primera ronda.

Fase 6. Análisis segunda ronda e informe final

En este caso, se calculó la frecuencia modal 2 (FM2), permitiendo de esta forma obtener los temas prioritarios por medio del consenso en las dos rondas, de tal forma que $FM2 = FM1 + E2 - S2$, donde E2 es el número de veces que un tema específico entra a la segunda ronda, mientras que S2 es el número de veces que el tema es retirado en la segunda ronda.

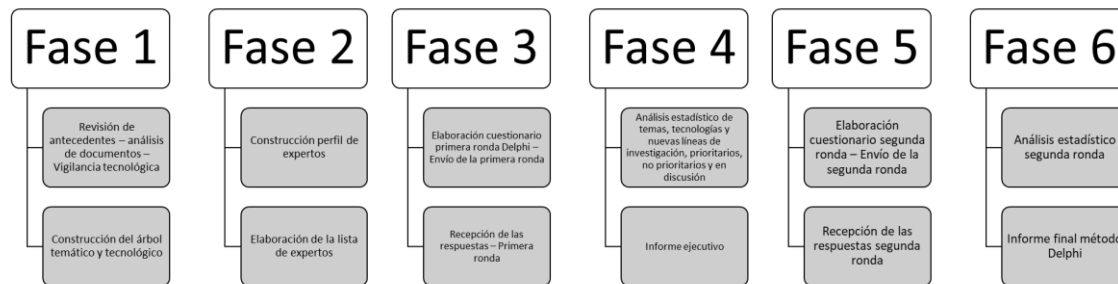


Figura 2. Fases del método Delphi

Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados del método de escenarios y del método Delphi a dos rondas.

Resultados de la aplicación del método de escenarios

El análisis de problemáticas Pestal (político, económico, social, tecnológico, ambiental, legal) fue diligenciado por 26 expertos nacionales e internacionales, la formación académica resultó en: 19 % tenía título de doctorado, 33 % de maestría, 5 % de especialización, 24 % como profesionales y 19 % de otras formaciones. Todos los participantes pertenecieron a la triada: universidad 67 %, empresa 21 % y Estado 12 %. El formato fue diligenciado por expertos de Colombia, Perú, Argentina y España.

En la recepción de los formatos diligenciados por los expertos/grupos de interés, se identificaron problemáticas en cada uno de los subsistemas propuestos, estas fueron agrupadas en 71 variables y, posteriormente, se ingresaron al *software* Micmac, en el cual se estima la influencia cruzada de cada una de las 71 variables en filas contra las mismas 71 variables en columnas a través de las calificaciones 0 (sin influencia), 1 (débil influencia), 2 (media influencia), 3 (fuerte influencia) y P (influencia potencial).

Después de diligenciar la matriz, el *software* genera cuatro planos, (directo, indirecto, directo potencial e indirecto potencial) y los parámetros de calidad de la información diligenciada se pueden ver en los siguientes aspectos:

1. Número de variables (para este ejercicio se contó con 71 variables)
2. Estabilidad después de la segunda iteración (esto se logró en los cuatro planos)
3. Disposición de las variables en cada uno de los cuatro planos (en los cuatro planos se evidenció una dispersión de variables, esto debido a un sistema inestable)

Con base en la información obtenida en la aplicación del método Micmac, se agruparon las variables clave con el fin de proceder a construir las hipótesis, insumo fundamental para el análisis de escenarios.

A continuación, en la tabla 1 se observa la lista de variables de los seis agrupadores.

Tabla 1. Agrupación de variables definitivas

Grupo	Variables
1 Recursos tecnológicos	1 Recursos tecnológicos sector primario 2 Recursos para I+D+I 3 Suministro de plataformas tecnológicas 4 Asistencia técnica
2 Actividades productivas	5 Continuidad en programas para el sector 6 Actividades productivas sector agroindustrial 7 Adecuación y transformación de materias primas de origen biológico 8 Aprovechamiento de productos autóctonos
3 Sostenibilidad	9 Tecnologías amigables con el medioambiente 10 Políticas sostenimiento ambiental
4 Gestión y competitividad	11. Desarrollo de la asociatividad con grandes productores 12. Capacidad institucional en la gestión de riesgos del sector agropecuario 13. Competitividad del sector agroindustrial 14. Innovación en materias primas
5 Nuevos proyectos	15. Vinculación de la academia 16. Desarrollo de nuevos proyectos
6 Políticas públicas	17. Política agropecuaria y extensión rural 18. Políticas de desarrollo de mercados regionales con tendencias mundiales 19. Inversión en talento humano 20. Interés político por el desarrollo rural 21. Incentivo a jóvenes para trabajo en el campo

Fuente: Elaboración propia

El método Mactor comenzó su implementación a través de la identificación de actores definidos por los expertos del sector. La lista de los nueve actores estuvo conformada por: grupos y centros de investigación en el área, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, productores, secretarías

de agricultura departamentales, gremios y asociaciones del sector agropecuario-agroindustrial, universidades públicas y privadas con programas de pregrado en ingeniería agroindustrial, empresas del sector agroindustrial, *start up* del sector y organizaciones internacionales (ONU, FAO, OEA).

Se obtuvo un total de nueve actores que fueron ingresados al *software* Mactor. Por otro lado, se redactaron siete objetivos, los cuales se observan en la tabla 2.

Tabla 2. Lista de objetivos

Nº	Título largo	Título corto
1	Crear un programa de certificación de competencias en la aplicación de tecnologías en el sector agropecuario y agroindustrial que permita aumentar la productividad del sector	Tecno Sect
2	Generar un curso en el programa de ingeniería agroindustrial que incluya temáticas asociadas a la economía circular y el desarrollo sostenible	Eco Circul
3	Fortalecimiento de las líneas de investigación del grupo de investigaciones agroindustriales (Grain) para enfocarse hacia el mayor aprovechamiento de materias primas de origen biológico y productos autóctonos	Grain
4	Participar en convenios de asociatividad con diferentes actores de la cadena agroindustrial que promuevan la competitividad	Convenios
5	Ajustar los contenidos curriculares en los cursos del ciclo profesional del programa Ingeniería Agroindustrial donde se impartan las políticas del desarrollo sostenible	Pol Des So
6	Desarrollar estrategias para fomentar el desarrollo de nuevos productos por parte de los estudiantes, a partir de materias primas de origen biológico y productos autóctonos	Des Nue Pr
7	Crear una unidad, un centro o un instituto de alto nivel con cobertura internacional que integre la universidad-empresa-Estado-sociedad para generar innovaciones en materias primas y procesos	U E

Fuente: Elaboración propia

Con la lista de actores y los objetivos, se procedió a diligenciar las matrices MAA (matriz de actores por actores) y la 2MAO (matriz de actores por objetivos). La matriz MAA se elaboró teniendo en cuenta la influencia entre actores, la que se expresa mediante una puntuación entre 0 a 4 en orden de importancia: 0: sin influencia, 1: procesos, 2: proyectos 3: misión, 4: existencia.

En la figura 3 se observa en forma de histograma la relación de fuerzas entre los actores.

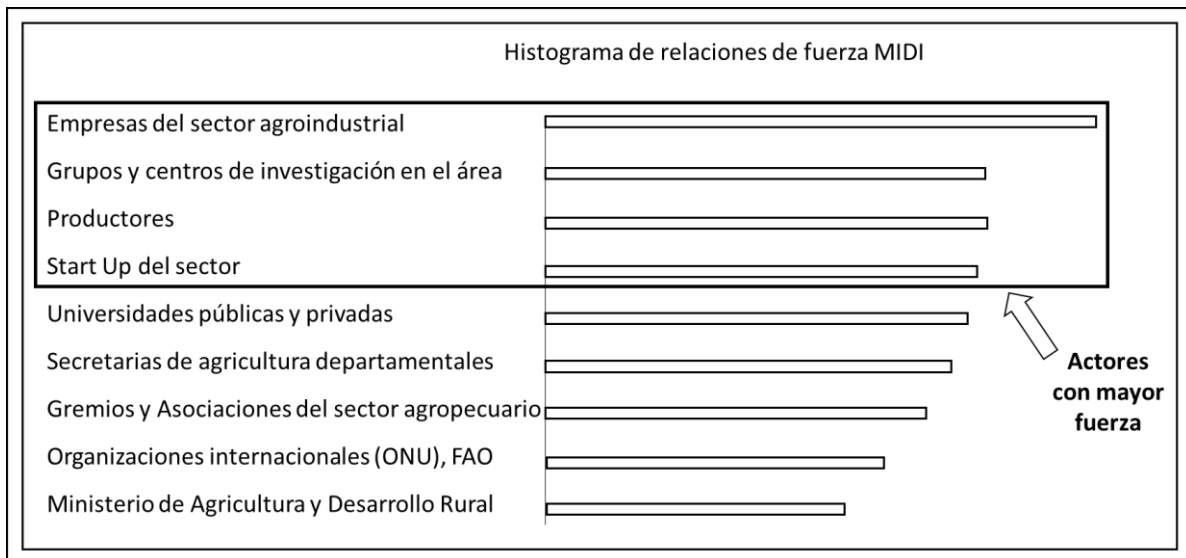


Figura 3. Histograma de relación de fuerzas entre los actores
 Fuente: Elaboración propia a partir del *software* Mactor (Lipsor, 2021)

Los actores con mayor fuerza son empresas agroindustriales, grupos y centros de investigación en el área, productores y *start up* del sector.

Posteriormente, se aplicó el método SMIC ProbExpert, el cual es un método de impacto cruzado para eliminar la parte subjetiva de acuerdo con respuestas cifradas, mediante un cuestionario para la formulación de hipótesis esenciales, basadas en sus probabilidades de realización determinadas por los docentes de la facultad.

Con base en la información obtenida en el agrupamiento de las variables clave, proyectos actuales, futuros y amenazas, y las asignaciones de excelente, bueno, regular o malo por cada eje, se procedió a construir las hipótesis simples, condicionadas positivas y condicionadas negativas, insumo fundamental para el análisis de escenarios.

Las hipótesis se construyeron a partir del balance proyectos actuales, futuros y amenazas en cada uno de los seis agrupadores de variables clave, sobre las cuales se establecieron calificaciones excelente (E), bueno (B), regular (R) o malo (M), luego se estableció un posible estado a 2035 entre las cuatro opciones de E, B, R y M, y sobre este estado de cada uno de los seis agrupadores se plantearon las hipótesis simples.

Tabla 3. Descripción de algunas hipótesis

Hipótesis	Descripción
Recursos tecnológicos	En el año 2035, entre 15-20 % del sector primario utilizará los recursos tecnológicos disponibles con miras a aumentar la productividad y la sostenibilidad, soportado en asistencia técnica específica.
Actividades productivas	En el año 2035, 55-70 % de las principales materias primas de origen biológico y los productos autóctonos contarán con procesos de aprovechamiento y transformación agroindustrial en el país, ya sea a través del apoyo de programas gubernamentales o privados.
Gestión y competitividad	Para el 2035, se incrementará la participación entre 30-40 % de los actores que conforman el sector agroindustrial en proyectos que involucren nuevas tecnologías emergentes y se aumentará el desarrollo de productos usando nuevas materias primas enmarcados en la triada universidad-empresa-Estado.
Sostenibilidad	En 2035, entre 60-75 % de las empresas agroindustriales de la región implementarán y tendrán en funcionamiento, por lo menos, una tecnología científicamente comprobada, amigable con el medioambiente y entre 60-75 % de las políticas de sostenimiento ambiental (enmarcadas en las estrategias para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible, la producción y el consumo sostenible, el crecimiento verde y la economía circular), estarán implementadas en la región.
Políticas públicas	En 2035 se incrementarán, en promedio, entre 3-5 % anual las exportaciones agropecuarias no tradicionales y el cubrimiento de los planes de desarrollo locales y nacionales (que incluyan cofinanciamiento de programas de formación en pregrado y posgrado, el crecimiento de emprendimientos de jóvenes rurales) será entre 50 %-60 %.
Nuevos proyectos	En 2035 se habrán desarrollado en la facultad de Ingeniería Agroindustrial (UPB) al menos 10 productos nuevos a partir de proyectos que apliquen nuevas tecnologías.

Fuente: Elaboración propia

Las hipótesis simples, condicionadas positivas y condicionadas negativas fueron diligenciadas por 12 expertos.

Con base en la información obtenida del *software*, se procedió a elegir el escenario más probable y el escenario apuesta, este último con el apoyo del equipo monitor, donde esta elección se toma con los escenarios que suman el 80 %.

Con base en un total de 64 escenarios probables es decir 2⁶, donde 6 corresponde al número de agrupadores después de haber aplicado la metodología MICMAC; además de tener en cuenta su probabilidad y deseabilidad para un total de 64 escenarios posibles, se observó el escenario más probable con un porcentaje del 20,8 %.

El 1 representa el cumplimiento o materialización de la hipótesis simple y como fueron seis hipótesis simples, el escenario más probable, de acuerdo con los expertos que contestaron las matrices, es el 111111 con el 20,8 % de probabilidad, es decir, el escenario más probable contiene la realización de las seis hipótesis. A continuación, en la tabla 4 se muestran los escenarios probables que suman el 80 %.

Tabla 4. Escenarios probables

Escenarios	Probabilidad (%)
111111	20,8
000000	13,7
111101	6,5
111110	6
101111	6
011111	3,3
111011	3,1
011110	2,7
011011	2,6
110101	2,4
101101	2,3
111001	2,2
110111	2,1
111100	2
000010	1,6
100001	1,5
000001	1,3
Total	80,1

Fuente: Elaboración propia

Método Delphi

A continuación, se detallan los resultados de cada fase desarrollada en el estudio.

Fase 1: Vigilancia tecnológica

Para la revisión sistemática de literatura o fase de vigilancia tecnológica se construyeron ecuaciones de búsqueda con las palabras clave “engineering”, “agroindustry” y “agribusiness”, estas fueron ingresadas en la base de datos Scopus, obteniéndose un total de 84 artículos que se pueden observar en la tabla 4.

En esta ecuación se buscaron términos relacionados con ingeniería y agroindustria.

Tabla 5. Ecuaciones de búsqueda

Ecuaciones de búsqueda
TITLE-ABS-KEY (engineering AND (agribusiness OR agroindustry OR agroindustrial)) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "HEAL ") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "NEUR ")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2012))
TITLE-ABS-KEY (engineering W/3 (agribusiness OR agroindustry OR agroindustrial)) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012))

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron 84 artículos directamente relacionados con agroindustria, los cuales se constituyeron en el insumo para realizar el árbol temático y tecnológico, el cual quedó compuesto por una combinación de 80 temas y tecnologías de estudios anteriores (Palacio et al., 2016), junto con los resultados del análisis de los 84 artículos también se incluye la retroalimentación obtenida a partir de expertos, los cuales permitieron aumentar el número de temas y tecnologías en cada eje y área de la agroindustria a 295.

Como paso previo a la ronda 1, se construyó un perfil de expertos teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Nivel académico (título de pregrado y título de posgrado).
- Sector educativo (directores y decanos de programas de Ingeniería Agroindustrial, directores de grupos de investigación en agroindustria).
- Sector privado (empresas altamente innovadoras de alimentos).
- Sector público (entidades adscritas y vinculadas al Ministerio de Agricultura, programas nacionales de CTeI y Colciencias).
- Entidades de interfaz (centros de investigación y desarrollo tecnológico reconocidos por Colciencias).
- Expertos internacionales en Research Gate con más de 10 publicaciones.

Para el estudio se seleccionaron 200 expertos de los cuales, participaron 53 en total.

Fase 2. Cuestionario de la primera ronda Delphi

La construcción del cuestionario para la primera ronda Delphi se realizó con base en el árbol de temas y tecnologías para cada agrupador, se resalta que, en el cuestionario de primera ronda, cada ítem permitió al experto dar aspectos relevantes en su calificación, igualmente después de

cada agrupador, el experto tuvo la opción de incluir algún tema que él considerara que faltó en el cuestionario.

En cuanto a formación académica, el 41 % de los expertos que participaron en el estudio tiene una maestría, seguido del 20 % con un doctorado, pregrado 14 % y especialistas 11 %.

Definición de grupos de prioridad

Con las 53 respuestas obtenidas se calcularon los valores de moda, frecuencia modal y porcentaje de consenso. Después de los análisis estadísticos realizados, de acuerdo con el método mencionado, se hallaron: temas prioritarios (93), temas no prioritarios (0), temas en discusión (169), temas no sabe/no responde (33) y temas nuevos (30).

Dentro de los resultados más importantes se observa la clasificación de los nueve agrupadores con los temas elegidos como prioritarios, donde se destaca en el agrupador “Producción” de los 11 temas elegidos, donde algunos de ellos son: reducción de la contaminación por bioprocesos, transformación de alimentos por bioprocesos, *software* y *hardware* (supervisión, optimización y control integral para asegurar calidad) BPM, Haccp, trazabilidad, entre otros; para el agrupador “Tecnologías de transformación” se identificaron 26 temas como prioritarios, entre los que se encuentran: uso de energías limpias en producción, maquinaria y equipos para la industria de empaques, determinación del riesgo en inocuidad de alimentos y automatización de procesos; en el agrupador “Tecnologías de manejo y adecuación” fueron seleccionados como prioritarios 5 temas: empaques biodegradables, empaques naturales, envases activos, empaques activos, empaques inteligentes; en el agrupador “Tecnologías en comercialización y logística” se observan 2 temas prioritarios: infraestructuras para el transporte (refrigerado, atmósferas controladas) y mecanismos de comercio electrónico; por otro lado, en el agrupador “Tecnologías convergentes” fueron seleccionados 16 temas como prioritarios, algunos de ellos son: BigData, nanocompuestos, nanocompuestos biodegradables, apps a través interfaces web, entre otros; para el agrupador “Sostenibilidad” se encuentran temas como: agricultura sostenible, construcciones sostenibles y química verde, los cuales fueron de los temas elegidos como prioritarios; en cuanto al agrupador “Genética y biotecnología”, los temas prioritarios fueron 13, donde se destacan: biocombustibles, organismos modificados genéticamente y antioxidantes; para el agrupador “Tendencias, productos, residuos” se definieron como prioritarios 3 temas: innovación, agronegocios y alimentos funcionales. Por último, en el agrupador “Educación en Ingeniería agroindustrial” hubo 10 temas prioritarios, entre los cuales destacan: transferencia de tecnología, aprendizaje colaborativo/autónomo y capacidades de innovación.

Así mismo, se observó que el agrupador con mayor cantidad de temas prioritarios fue “Tecnologías de transformación” con 26 temas, seguido de “Tecnologías convergentes” con 16 temas; el agrupador con mayor cantidad de temas en discusión fue el de “Tecnologías de transformación” con 94 temas, seguido de “Producción” con 15 temas.

Fase 3. Construcción del formato de segunda ronda Delphi

El formato de segunda ronda se envió a los mismos 53 expertos y sobre sus resultados se calculó la frecuencia modal 2 (FM2) y un nuevo porcentaje de consenso, donde se obtuvieron 45 respuestas.

Fase 4. Estadística de la segunda ronda Delphi

Después de recibir la segunda ronda Delphi debidamente diligenciada, se procedió a realizar el análisis estadístico donde se utilizan las técnicas estadísticas descritas para la primera ronda. En este caso, se calculó la FM2, permitiendo de esta forma obtener los temas prioritarios, la ecuación es la siguiente: $FM2 = FM1 + E2 - S2$

En el análisis estadístico realizado se hallaron 105 temas prioritarios y 190 temas en discusión.

Discusión

El estudio previo de prospectiva de la ingeniería agroindustrial a 2020 (Zartha y Orozco, 2008) contó con un total de 80 temas y tecnologías relacionados con el programa de pregrado, las cuales hacían parte de cuatro agrupadores: (1) producción, (2) tecnologías de transformación, (3) tecnologías de manejo, adecuación y comercialización y (4) logística. En nuestro nuevo estudio, al año 2035 se identificaron 295 variables de entrada entre temas, tecnologías e innovaciones, los cuales se distribuyeron no solo en cuatro agrupadores sino en nueve, es decir, se conservaron los mismos cuatro, pero se identificaron nuevos agrupadores temáticos tales como tecnologías convergentes, sostenibilidad, genética y biotecnología, tendencias, productos y residuos y educación en ingeniería agroindustrial.

En cuanto al nuevo estudio de prospectiva a 2035, los temas prioritarios elegidos por los 53 expertos en los nueve agrupadores se destaca “Tecnologías de transformación” con 31 temas escogidos como prioritarios, algunos de ellos fueron: uso de energías limpias en producción, electrocoagulación, técnicas de detección y diagnóstico de fallas, lógica difusa, microfiltración y microencapsulación, todos estos son nuevos temas y tecnologías frente lo obtenido en el estudio de Zartha y Orozco (2008), aunque en dicho estudio sí se priorizó el tema de ultrafiltración. En cuanto al agrupador “Tecnologías convergentes” con 17 temas como prioritarios, algunos de ellos fueron: nanocompuestos biodegradables, nanofiltración, nanonutrientes en abonos, nanotubos de polímero/carbono, aislados de proteínas de aves de corral enzimáticamente hidrolizados, *big data*, inteligencia artificial, redes convolucionales, algoritmos genéticos (toma decisiones), técnicas de lógica difusa con imágenes digitales, vehículos aéreos no tripulados para la generación de imágenes de la superficie terrestre, entre otros, todos estos temas son nuevas propuestas para los planes de estudio para las facultades de ingeniería agroindustrial.

Para el agrupador “Producción” se definieron 13 temas como prioritarios, dentro de los que destacan: sistema de riego, mejoramiento de suelos a través de microorganismos, reducción de la contaminación por bioprocesos, reducción de plaguicidas, riego de precisión, etc., estos son

nuevos temas prioritarios frente al estudio de Zartha y Orozco (2008). Para el agrupador “Educación en ingeniería agroindustrial”, un nuevo agrupador frente al estudio de prospectiva con horizonte 2020, para el cual se encontraron 10 temas seleccionados como prioritarios en los que se destacan: experiencia agrícola supervisada (SAE), aprendizaje a distancia, transferencia de tecnología, *B learning*, minería de datos, capacidades de innovación y procesamiento digital de imágenes.

En el nuevo agrupador “Genética y biotecnología” fueron seleccionados 13 temas como prioritarios, algunos fueron: procesos biofarmacéuticos, proteínas farmacéuticas recombinantes y enzimas ligninolíticas; en el agrupador “Tendencias, productos, residuos” se encontraron 8 temas prioritarios como: innovación, agronegocios, harina de larva de mosca para alimentos concentrados, ingeniería de los sentidos, sustitutos de alimentos (huevo, sabor, carne) y etiquetado limpio, temas que se constituyen en nuevos y complementarios frente al estudio de prospectiva 2020. Por último, para el agrupador “Sostenibilidad” con 5 temas elegidos como prioritarios, se destacan: agricultura urbana, jardines/huertas comunitarias, privadas (hogares), agricultura sostenible, ecología industrial e ingeniería agroecológica.

Sobre los temas en discusión, se observa que el agrupador con mayor cantidad de temas en discusión fue “Tecnologías de transformación” con 103 temas, seguido de “Tecnologías convergentes” con 15 temas y “Educación en ingeniería agroindustrial” con 10 temas. Por último, el agrupador “Tendencias, productos, residuos” tuvo 11 temas en discusión.

Se ve que en el resumen general de los resultados obtenidos en la segunda ronda Delphi, los expertos llegaron a considerar temas prioritarios con porcentajes de consenso por encima del 58 %, llegando hasta el 83 %. Adicionalmente, el agrupador con mayor cantidad de temas prioritarios fue “Tecnologías de transformación” con 31 temas, seguido de “Tecnologías convergentes” con 17 temas, “Producción” con 13 temas, al igual que “Genética y biotecnología”. Por último, “Educación en ingeniería agroindustrial” contó con 10 temas (anexo 1).

Análisis estudios adicionales

Respecto al trabajo de Galindo *et al.* (2021), ese estudio está relacionado con la aplicación de una *app* para caracterizar dos localidades de México frente al uso de pesticidas, donde las encuestas fueron aplicadas por estudiantes de tres programas de ingeniería, incluyendo Ingeniería Agroindustrial de la Universidad San Luis Potosí. Este no es un estudio de vigilancia, prospectiva o de aspectos curriculares del programa de pregrado, a nivel temático presenta aspectos como: manejo integrado de plagas, cuarentena vegetal, coherencia ecológica, control de plagas migratorias, manejo de plaguicidas, protección fitosanitaria, extensionismo fitosanitario, insecticidas, nematicidas, acaricidas, fungicidas, bactericidas y cultivos de naranja, maíz y hortalizas.

En cuanto al artículo de Honorato (2021), este se enfoca en el uso de un simulador de temperatura para un deshidratador por convección de frutas y verduras usando el *software* LabView, los ensayos se llevaron a cabo en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua en Perú, a nivel temático

presenta aspectos de la industria 4.0 como: robots autónomos, *big data*, realidad aumentada, manufactura aditiva, computación en la nube, ciberseguridad, internet de las cosas y simulación en integración vertical y horizontal.

Frente al estudio de Kushnarenko et al. (2020), los investigadores rusos trabajan sobre un modelo de gestión contable para proveer información económicamente útil para la gestión de agronegocios. Basado en el uso de mecanismos analíticos y contables, el modelo tuvo en cuenta etapas de la cadena de valor como producción, almacenamiento, procesamiento y ventas, pero no se enfoca en prospectiva o temas específicos en agroindustria o agronegocios.

Céspedes et al. (2020) trabajan sobre el proceso de acreditación para el programa de Ingeniería Agroindustrial de una universidad peruana bajo el modelo de acreditación del Instituto de Calidad y Acreditación de Programas de Computación, Ingeniería y Tecnología (Icacit), los investigadores resaltan las bondades del proceso de acreditación para mejorar los resultados de las mediciones obtenidas e incrementar el impacto sobre el desempeño de los profesores de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, sin embargo, no es un estudio de prospectiva ni presenta tecnologías, innovaciones o temas específicos del programa.

Honorato (2020) investigó sobre un programa de simulación y control de temperatura para cámaras frigoríficas de almacenamiento de frutas. La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Informática de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua, Perú y el programa de simulación y control de temperatura fue desarrollado con el lenguaje de programación LabView de National Instruments, versión 2016, donde menciona aplicaciones en guayabas y uvas y explica la importancia de las aplicaciones de la industria 4.0 en temas como *Green TI*, *big data*, robots/sistemas autónomos, integración vertical y horizontal de sistemas, ciberseguridad, realidad aumentada, internet de las cosas, manufactura aditiva, nube, modelamiento y simulación.

Zartha et al. (2019c) solo menciona resultados de prospectiva de la primera ronda Delphi, es decir, contiene resultados preliminares que se tuvieron en cuenta para la realización del estudio de prospectiva completo presentado en esta investigación. Rabi y Caneppele (2018) explican que la virtualización ha respaldado muchos sectores de la ingeniería, pero no ha sido intensiva la ingeniería agroindustrial, por lo que presentan una propuesta de actividades prácticas en métodos numéricos a estudiantes de ingeniería de alimentos y biosistemas en un laboratorio computacional didáctico para materializar estrategias de “aprender haciendo” en problemas agroindustriales a través de la integración de disciplinas.

El artículo realizado por Vidal (2017) tiene como propósito dar a conocer lineamientos estratégicos para el mejoramiento de la formación, para la investigación de una universidad de Colombia en varios programas de pregrado, incluyendo Ingeniería Agroindustrial, a nivel temático menciona ciclos del currículo y grupos de investigación, aunque sin líneas de investigación y la existencia de factores a mejorar en el uso de las TIC.

Por último, se revisó el artículo de Albahaca et al. (2012), donde se observó que la investigación está relacionada con la adaptación del programa de la asignatura *Lengua Española* de la Universidad Pedagógica UPEL a las necesidades del futuro ingeniero agroindustrial de la

Universidad Lisandro Alvarado, con el fin promover destrezas de lectoescritura, pero no se presentan tecnologías, innovaciones o temas específicos del currículo del programa de Ingeniería Agroindustrial.

Conclusiones

Se debe recordar que siempre existirá incertidumbre en la toma de decisiones, los resultados no pueden verse con una perspectiva lineal o determinista y todo dependerá de las políticas, las estrategias y los proyectos, así como de las capacidades que se construyan entre los actores y los recursos que se gestionen o apliquen. Los escenarios generados fueron obtenidos a partir de problemáticas, variables clave, objetivos prospectivo-estratégicos, proyectos actuales, futuros y amenazas que pueden cambiar en el tiempo y por región o país, si bien es cierto que algunas variables, temas o tecnologías son transversales a algunas regiones y países, se recomienda una revisión permanente y una adecuación de todos los aspectos e insumos de este estudio en otros contextos.

De acuerdo con los resultados de las dos rondas Delphi, en la actualidad las facultades de ingeniería agroindustrial no deben incluir solamente los aspectos de manejo, producción, transformación y comercialización, ya que existen nuevos temas emergentes que desde otras ciencias y disciplinas aportan a su objeto de estudio, en este caso se resaltan agrupadores como tecnologías convergentes (nanotecnología), sostenibilidad, genética y biotecnología, tendencias, productos y residuos, entre otros.

Todos los temas, tecnologías e innovaciones quedaron categorizados como “prioritarios” o “discusión” y ninguno dentro de la categoría “no prioritarios”, esto está relacionado con la gran cantidad de calificaciones altas que dieron los expertos o *stakeholders* consultados y podría explicarse, como ha ocurrido en otros estudios, en que las personas que pertenecen a un subsector, cadena o sector productivo tienen tendencia a defender, priorizar y calificar positivamente los temas que trabajan o lo que consideran que se debería apostar en una región, sector o país y a nivel cuantitativo refleja que la moda para ese ítem específico no fue 0, 1, 2 o no sabe/no responde/no aplica o que si la moda tuvo esa calificación no tuvo un consenso alto para entrar a la categoría de no prioritarios.

Dentro de la lista, en el *top 20* de temas con mayor prioridad se encontraron tecnologías emergentes relacionadas con TIC tales como: uso de teléfonos móviles, redes sociales, drones agrícolas, internet de las cosas (IoT), *big data* y *cloud computing*, los cuales presentan nuevos desafíos y oportunidades para que los agronegocios redefinan y reconsideren el papel de las TIC para lograr mejores resultados agrícola.

Este estudio se convierte en un insumo fundamental para las facultades de ingeniería agroindustrial, ya que permite analizar las apuestas actuales y futuras en investigación, los nuevos cursos o áreas, los programas de extensión, los proyectos de transferencia a empresas y sus resultados también serán de utilidad para las personas con responsabilidades administrativas, ya

que tienen en sus manos un nuevo estudio a tener en cuenta en la toma de decisiones, de acuerdo con las características o apuestas propias de cada región y país.

La principal limitación del estudio y su futura aplicación por parte de escuelas, programas e instituciones de ingeniería agroindustrial está relacionada con los recursos y las capacidades de cada organización, lo cual limitará la adecuada absorción de tecnologías e innovación de algunas tecnologías e innovaciones presentadas en los resultados.

Las tecnologías, las innovaciones y los temas prioritarios podrán convertirse en un insumo para nuevas líneas de investigación, módulos o cursos, proyectos de extensión y programas de capacitación para los actores de los sistemas de innovación de cada región donde se estime conveniente la generación, la transferencia, la difusión y el aprendizaje de conocimientos relacionados con los ítems prioritarios en cada uno de los agrupadores temáticos.

Se recomienda que los programas académicos de Ingeniería Agroindustrial y afines repliquen esta metodología de escenarios y Delphi, con el fin de anticiparse a la toma de decisiones actualización curricular y apuestas investigativas a través de escenarios que tengan en cuenta el contexto de cada región y país.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la sección de Competitividad, Tecnología e Innovación de la OEA, al Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Instituciones de Ingeniería (Laccei) y a todos docentes, investigadores, estudiantes, empresarios y en general a todos los grupos de interés que participaron en cada método y técnica aplicada.

Contribución de los autores

Catalina Álvarez y Andrés Felipe Ríos colaboraron con metodología MICMAC, variables clave y método MACTOR, en cuanto a Carlos Augusto Hincapié y Gina Lía Orozco realizaron aportes en la realización de hipótesis, metodología SMICProbExpert registro de información en campo, construcción de bases de datos, análisis de información y elaboración y construcción de la introducción y metodología, en cuanto a Juan Carlos Palacio aportó en primera y segunda rondas Delphi y en los resultados, por último Jhon Wilder Zartha Sossa colaboró en el diseño del proyecto, análisis de resultados de software, elaboración de la discusión y conclusiones

Implicaciones éticas

El comité de ética, en sesión de 22 de noviembre del 2021, indicó de modo ad hoc que la investigación no se considera riesgosa, además, los expertos participantes dan su consentimiento para el uso y la divulgación de sus opiniones.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

Favor completar esta información y si no hubo financiación declararlo.

Referencias

- Abend, J. (2002). *Innovation Engines*. International Publication Patent Number: WO 02/19597 A2. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=WO&NR=0219597&KC=&FT=E&locale=en_EP
- Agyemang, P., Kwofie, E., & Fabrice, A. (2022). Integrating framework analysis, scenario design, and decision support system for sustainable healthy food system analysis. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133661. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133661>
- Albahaca, O., Escalona, I., & Márquez, Z. (2012). Adaptación del programa de Lengua Española de la Universidad Pedagógica (UPEL) al curso de lenguaje y comunicación de la Universidad Lisandro Alvarado (UCLA). *Boletín de Lingüística*, 24(37-38), 5-27. <https://www.redalyc.org/pdf/347/34728454009.pdf>
- Auvinen, H., Tuominen, A., & Ahlqvist, T. (2012). Towards long-term foresight for transport: envisioning the Finnish transport system in 2100. *Foresight*, 14(3), 191-206. <https://doi.org/10.1108/14636681211239746>
- Bootz, J., Michel, S., Pallud, J., & Monti, R. (2022). Possible changes of Industry 4.0 in 2030 in the face of uberization: Results of a participatory and systemic foresight study. *Technological Forecasting and Social Change*, 184, 121962. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121962>
- Castelló-Tarrega, M., & Callejo, J. (2000). *La prospectiva tecnológica y sus métodos*. Observatorio de Prospectiva Científica y Tecnológica de Argentina - SeTCIP. <http://www.oocities.org/es/derviscorro/plan/05.pdf>
- Celiktas, M. S., & Kocar, G. (2010). Hydrogen is not an utopia for Turkey. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(1), 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.10.067>
- Céspedes, T., González, J., & Linares, G. (2020). *Quality Management System based on ICACIT accreditation criteria and its impact on the teaching performance of the Agroindustrial Engineering program*. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. https://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full_papers/FP255.pdf
- Cuhls, K. (2001). Foresight with Delphi surveys in Japan. *Technology Analysis and Strategic Management*, 13(4), 555-569. <https://doi.org/10.1080/09537320127287>
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1951). *The use of experts for the estimation of bombing requirements: A project Delphi experiment*. Santa Monica, Estados Unidos: RAND Corporation.
- DeSouza, N., Van der Lugt, A., Deroose, C., Bayarri, A., Bidaut, L., Fournier, L., Costaridou, L., Lager, D., Kotter, E., Smits, M., Mayerhoefer, M., Boellaard, R., Caroli, A., Oei, L., Kunz,

- W., Oei, W., Lecouvet, F., Franca, M., Loewe, C., Lopci, E., (...) Zahlmann, G. (2022). Standardised lesion segmentation for imaging biomarker quantitation: a consensus recommendation from ESR and EORTC. *Insights into Imaging*, 13, 159. <https://doi.org/10.1186/s13244-022-01287-4>
- Drew, S. (2006). Building technology foresight: using scenarios to embrace innovation. *European Journal of Innovation Management*, 9(3), 241-257. <https://doi.org/10.1108/14601060610678121>
- Fehr, A., Seeling, S., Hornbacher, A., Thißen, M., Bogaert, P., Delnord, M., Lyons, R., Tjijhuis, M., Achterberg, P., & Ziese, T. (2022). Prioritizing health information for national health reporting - a Delphi study of the Joint Action on Health Information (InfAct). *Archives of Public Health*, 80, 25. <https://doi.org/10.1186/s13690-021-00760-8>
- Figueroa, G. A., Montilla, M. A., & Melo, R. M. (2012). Método DELPHI: aplicaciones y posibilidades en la gestión prospectiva de la investigación y desarrollo. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, 18(1), 41-52. <https://www.redalyc.org/pdf/364/36424414003.pdf>
- Galindo, M., Aldaz, N., Contreras, C., Saldierna, G., & Almendarez, S. (2021). Articulación territorial de la gestión de plaguicidas en el marco de la protección fitosanitaria. El caso del valle agrícola de Rioverde y Ciudad Fernández, San Luis Potosí. *Investigaciones Geográficas*, 106. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112021000300107
- García-Herrero, L., Brenes-Peralta, L., Leschi, F., & Vittuari, M. (2022). Integrating Life Cycle Thinking in a policy decision tool: Its application in the pineapple production in Dominican Republic. *Journal of Cleaner Production*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132094>
- Godet, M., & Monti, R. (1997). *Manuel de prospective stratégique*. París: Dunod.
- Graham, G., Mehmood, R., & Coles, E. (2015). Exploring future cityscapes through urban logistics prototyping: a technical viewpoint. *Supply Chain Management*, 20(3), 341-352. <https://doi.org/10.1108/SCM-05-2014-0169>
- Gordon, T. J., & Helmer, O. (1964). *Report on a long-range forecasting study*. Santa Monica, Estados Unidos: Rand Corporation.
- Haan, F., Boon, W., Amaratunga, C., & Dondorp, A. (2022). Expert perspectives on the introduction of Triple Artemisinin-based Combination Therapies (TACTs) in Southeast Asia: a Delphi study. *BMC Public Health*, 22(864). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13212-x>
- Honorato, C. P. (2020). Temperature simulation and control in refrigerated storage chambers for fruit. *Procedia Manufacturing*, 42, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.021>
- Honorato, C. P. (2021). Temperature simulation and control for lab-scale convection dehydrators. *Procedia Computer Science*, 180, 922-934. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.343>
- Jayyousi, O., & Aldhmour, F. (2022). *Re-imagining the Futures of University: Foresight for Higher Education Using Innovation Labs Learning Space*. International Conference on Business and Technology. <https://www.springerprofessional.de/en/re-imagining-the-futures-of-university-foresight-for-higher-educ/23260498>
- Kushnarenko, T., Shumilin, P., Yuryeva, O., Medvedskaya, T., & Zaporozceva, E. (2020). Accounting management model of agribusiness: engineering tools for accounting and

- analysis. *E3S Web of Conferences*, 164(1),06037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016406037>
- Lipsor. (2021). *Programas y métodos de Prospectiva*. <http://es.lapropective.fr/Metodos-de-prospectiva/Los-programas/67-Micmac.html> 2021
- Lente, H., & Peters, P. (2022). The future as aesthetic experience: imagination and engagement in future studies. *European Journal of Futures Research*, 10(16). <https://doi.org/10.1186/s40309-022-00204-8>
- Lu, Y., Liu, C., Yu, D., Wells, Y. (2022). Conditions required to ensure successful detection and management of mild cognitive impairment in primary care: A Delphi consultation study in China. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.943964>
- Luoma, P., Penttinen, E., Tapio, P., & Toppinen, A. (2022). Future images of data in circular economy for textiles. *Technological Forecasting and Social Change*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121859>
- Nazarko, J., Radziszewski, P., Dębkowska, K., Ejdyś, J., Gudanowska, A., Halicka, K., ... & Vilutienė, T. (2015). Foresight study of road pavement technologies. *Procedia Engineering*, 122, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.016>
- Neumann, D., Tiberius, V., & Biendarra, F. (2022). Adopting wearables to customize health insurance contributions: a ranking-type Delphi. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 22(112). <https://doi.org/10.1186/s12911-022-01851-4>
- Palacio, J., Zarta, R., Rios, A., & Zartha, J. (2016). Estudio de Prospectiva: Aplicación del método Delphi en Cafés Especiales en Colombia al 2025. *Revista Espacios*, 37(14). <https://www.revistaespacios.com/a16v37n14/16371407.html>
- Rabi, A., & Caneppele, F. (2018). Numerical methods to biosystems and food engineering students: Hands-on practices and cross-disciplinary integration. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1120-1133. <https://doi.org/10.1002/cae.21933>
- Reguant, A., & Torrado, M. (2016). El método Delphi. REIRE. *Revista d'innovació i Recerca En Educació*, 9(1). <https://revistes.ub.edu/index.php/REIRE/article/view/reire2016.9.1916>
- Spaniol, M., & Rowland, N. (2022). Business ecosystems and the view from the future: The use of corporate foresight by stakeholders of the Ro-Ro shipping ecosystem in the Baltic Sea Region. *Technological Forecasting and Social Change*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121966>
- Steurer, J. (2011). The Delphi Method: an efficient procedure to generate knowledge. *Skeletal Radiology*, 40, 959- 961. <https://doi.org/10.1007/s00256-011-1145-z>
- Schatzmann, J., Schäfer, R., & Eichelbaum, F. (2013). Foresight 2.0-Definition, overview & evaluation. *European Journal of Futures Research*, 1(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s40309-013-0015-4>
- Tamanni, L., Indra, I., Syamlan, Y., & Priantina, A. (2022). Islamic social finance and commercial finance: a marriage made in heaven? *Journal of Islamic Accounting and Business Research*, 13(8), 1216-1233. <https://doi.org/10.1108/JIABR-01-2021-0018>
- Vidal, C. (2017). Lineamientos estratégicos dirigidos a la formación para la investigación en programas de ingeniería. *Revista Espacios*, 38(30). <https://www.revistaespacios.com/a17v38n30/a17v38n30p31.pdf>
- Westland, H., Page, S., Rijn, M., Aryal, S., Freedland, K., Lee, C., Strömberg, A., Vellone, E., Wiebe, D., Jaarsma, T., & Riegel, B. (2022). Self-care management of bothersome

- symptoms as recommended by clinicians for patients with a chronic condition: A Delphi study. *Heart & Lung*, 56, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2022.06.001>
- González-Yebra, O., Aguilar, M., & Aguilar, F. (2019a). A first approach to the Design Component in the agri-food industry of southern Spain. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cuyo*, 51(1), 125-146. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/2349>
- González-Yebra, O., Aguilar, M., & Aguilar, F. (2019b). Is the design a vector to be considered in the agri-food industry? An interprofessional analysis in andalusia (Spain). En F Cavas-Martínez, B Eynard, F Fernández, D Fernández-Pacheco, P Morer & V Nigrelli, *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing II* (pp. 610-621). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12346-8>
- Zartha, J., & Orozco, G. (2008). Estudio de prospectiva académica de la facultad de ingeniería agroindustrial de la universidad pontificia bolivariana al año 2020. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 6(2). <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/693>
- Zartha, J., Halal, W., & Hernández, R. (2019a). Delphi method: analysis of rounds, stakeholder and statistical indicators. *Journal Foresight*, 21(5). <https://doi.org/10.1108/FS-11-2018-0095>
- Zartha, J., Álvarez, V., Oviedo, J., & Orozco, G. (2019b). Propuesta de Árbol Temático y Tecnológico sobre la Ingeniería agroindustrial como Herramienta para un Estudio de Prospectiva. *Formación Universitaria*, 12(4), 13-26. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062019000400013>
- Zartha, J., Álvarez, R., Palacio, J., Montes, J., Quintal, A., Manrique, J., Oviedo, J., Orozco, G., Hernández, R., & Moreno, J. (2019c). *Prospectiva de la Ingeniería Agroindustrial a 2035 - Aplicación del método Delphi como dinamizador de cambios curriculares*. 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. <https://www.researchgate.net/publication/335430410> <https://doi.org/10.4067/S0718-50062019000400013>

Anexos

A continuación se presenta la tabla con los temas/temas/tecnologías/innovaciones prioritarias en la segunda ronda y la última ronda.

Anexo 1. Temas/temas/tecnologías/innovaciones prioritarias en la segunda ronda

Producción	Decisión segunda ronda
Manejo de alimentos que no involucran transformación	
Sistema de riego	Prioritario
Almacenamiento agrícola	Prioritario
Riego de precisión	Prioritario
Biotecnología	
Mejoramiento genético de variedades para cultivos de nuevas características	Prioritario
Mejoramiento de suelos a través de microorganismos	Prioritario
Transformación de alimentos por bioprocesos	Prioritario
Reducción de la contaminación por bioprocesos	Prioritario
Control biológico y ambiental	
Control de plagas y enfermedades	Prioritario
Tecnología en manejo de residuos (reuso de materiales de residuo)	Prioritario
Biofertilizantes	Prioritario
Reducción de plaguicidas	Prioritario
Control de calidad	
<i>Software</i> y <i>hardware</i> (supervisión, optimización y control integral para asegurar calidad) BPM, Haccp, trazabilidad.	Prioritario
Productos en fresco con nuevas especificaciones: orgánicos, sello verde, BPA, etc.	Prioritario
Tecnologías de transformación	Decisión
Manejo de alimentos que no involucran transformación	
Maquinaria y equipos para la elaboración de cárnicos	Prioritario
Maquinaria y equipos para la industria de empaques	Prioritario
Biotecnología-separaciones	
Uso de energías limpias en producción	Prioritario
Electrocoagulación	Prioritario
Fraccionamiento de fluido supercrítico contracorriente (CC-SFF)	Prioritario
Irradiadores UV no térmicos	Prioritario
Control de calidad y ambiental	
Técnicas de detección y diagnóstico de fallas, lógica difusa	Prioritario
Tecnologías limpias en limpieza y desinfección	Prioritario
Determinación del riesgo en inocuidad de alimentos	Prioritario
Microorganismos emergentes	Prioritario
Ingeniería de procesos	
Microfiltración	Prioritario

Ultrafiltración	Prioritario
Liofilización	Prioritario
Deshidratación	Prioritario
Fluidos supercríticos	Prioritario
Altas presiones	Prioritario
Agentes químicos y bioquímicos utilizados en la conservación de alimentos	Prioritario
Métodos combinados para conservación de alimentos	Prioritario
Irradiación de alimentos	Prioritario
Pulsos eléctricos	Prioritario
Sonicación (ultrasonidos)	Prioritario
Microencapsulación	Prioritario
Automatización de procesos	Prioritario
Conservación de agua	Prioritario
Gestión de cultivos	Prioritario
Atmósfera controlada	Prioritario
Extracción con solvente por microondas	Prioritario
Microemulsiones	Prioritario
Microencapsulación de alfalfa	Prioritario
Transformación de productos	
Azúcar de la palma	Prioritario
Harinas compuestas	Prioritario
Tecnologías de manejo y adecuación	Decisión
Manejo de alimentos que no involucran transformación	
Atmósferas controladas	Prioritario
Empaques biodegradables y naturales	Prioritario
Empaques activos e inteligentes	Prioritario
Monitoreo satelital	Prioritario
Control de calidad y ambiental	
Instalaciones de aspiración de micropartículas	Prioritario
Tecnologías en comercialización y logística	Decisión
Infraestructuras para el almacenamiento	Prioritario
<i>Software</i> para el manejo de la planeación y la logística	Prioritario
Equipos (scanner, RF)	Prioritario
Tecnologías convergentes	Decisión
Nanotecnología	
Nanocompuestos	Prioritario
Nanocompuestos biodegradables	Prioritario
Nanofiltración	Prioritario
Nanopartículas magnéticas	Prioritario
Nanotubos de polímero/carbono	Prioritario
Nanonutrientes en abonos	Prioritario
Biotecnología	
Aislados de proteínas de aves de corral enzimáticamente hidrolizados	Prioritario
Plasma de presión atmosférica (APP)	Prioritario
TIC (Tecnologías de la información y comunicación)	
<i>Big data</i>	Prioritario
Arquitectura orientada a servicios (SOA)	Prioritario

Inteligencia artificial, redes convolucionales, algoritmos genéticos (toma de decisiones)	Prioritario
Bioinformática	Prioritario
Dinámica de fluidos computacional (CFD)	Prioritario
Radio frecuencia e identificación RFID	Prioritario
Técnicas de lógica difusa con imágenes digitales	Prioritario
<i>Remote sensing platforms</i>	Prioritario
Vehículos aéreos no tripulados para la generación de imágenes de la superficie terrestre	Prioritario
Sostenibilidad	Decisión
Agricultura sostenible	Prioritario
Ecología industrial	Prioritario
Agricultura familiar	Prioritario
Ingeniería agroecológica	Prioritario
Agricultura urbana: jardines/huertas comunitarias, privadas (hogares)	Prioritario
Genética y biotecnología	Decisión
Ómicas	Prioritario
Ingeniería metabólica	Prioritario
Secuenciación de ADN	Prioritario
Biocombustibles	Prioritario
Bioenergía - lodos tratamiento de agua	Prioritario
Biorremediación	Prioritario
Degradación de lignocelulosa	Prioritario
Antioxidantes	Prioritario
Encapsulación de enzimas ligninolíticas (LiP, MnP y lacasa)	Prioritario
Enzimas ligninolíticas	Prioritario
<i>Hydrofiber</i> , filtros de celulosa	Prioritario
Procesos biofarmacéuticos	Prioritario
Proteínas farmacéuticas recombinantes	Prioritario
Tendencias, productos, residuos	Decisión
Agronegocios	Prioritario
Innovación	Prioritario
Ingeniería de los sentidos	Prioritario
Harina de larva de mosca para alimentos concentrados	Prioritario
Alimentos funcionales	Prioritario
Productos terapéuticos	Prioritario
Sustitutos de alimentos (huevo, sabor, carne)	Prioritario

Etiquetado limpio	Prioritario
Educación en ingeniería agroindustrial	Decisión
Experiencia agrícola supervisada (SAE)	Prioritario
Aprendizaje a distancia	Prioritario
Transferencia de tecnología	Prioritario
<i>B learning</i>	Prioritario
Aprendizaje colaborativo/autónomo	Prioritario
Minería de datos	Prioritario
Aprendizaje electrónico	Prioritario
Capacidades de innovación	Prioritario
Procesamiento digital de imágenes	Prioritario
Sistemas de información geográfica	Prioritario

Nota aclaratoria: estos resultados fueron complementados por los expertos con 32 nuevos temas, tecnologías e innovaciones, entre los que se resaltan: desarrollo de biosensores para el control de la calidad, fuentes alternativas de proteínas y nutrientes (insectos, algas y cianobacterias), papas nativas, frutales andinos, producción de proteínas y fibras vegetales, transformación del aguacate, tecnologías de monitoreo y control, NFC, RFID, drones, logística inversa, impresión 4D de alimentos, carne en biorreactores a partir de células animales, energía estable y acuaponía.

Fuente: Elaboración propia