



Capítulo 5.

Evaluación de la adopción de tecnologías en producción lechera

Mario Fernando Cerón-Muñoz

Zoot. MSc, Dr; Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GAMMA

Mariana Toro-Perez

Zoot. Esp. Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GAMMA

Jhare Jhuliana Taborda

Zoot. Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GAMMA

Natalia Andrea Zapata-Zapata

Zoot. Esp. Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GAMMA

Liliana Mahecha

Zoot. MSc, Dr; Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GRICA

Joaquín Angulo

Zoot. MSc, Dr; Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GRICA

José Fernando Guarín

Zoot. MSc, Dr; Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GRICA

Marisol Medina-Sierra

Ing. Agron. MSc, Dr; Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación GAMMA

Wim Houwers

Ing.; Wageningen University and Research, Empresa Lavaca Wageningen

Bram Wouters

Ing. Agri.; Wageningen University and Research

Resumen

En Colombia, los sistemas de producción de leche presentan baja productividad y altos costos de producción, motivo por el cual se hace necesario buscar estrategias como la adopción de tecnologías innovadoras. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la intención de adopción de tecnologías en producción de leche por parte de productores del norte y oriente de Antioquia, Colombia. Para tal fin se realizaron capacitaciones en las que se les presentaron tecnologías en diferentes áreas de los sistemas productivos y posteriormente se realizaron encuestas con las premisas de un modelo de aceptación tecnológica adaptado (TAM). Los resultados fueron analizados mediante un modelo de ecuaciones estructurales (SEM). En este estudio se encontró que los productores tenían un 3,9 de intención de adopción de las tecnologías en escala de 1 a 5, debido principalmente a su utilidad y la facilidad de uso percibida. Se concluyó que los productores del norte y oriente de Antioquia tienen la intención de adoptar las tecnologías presentadas durante las capacitaciones.

Palabras clave: desarrollo rural, modelos de adopción tecnológica, modelos de ecuaciones estructurales

1. Introducción

El sector lácteo aporta casi un cuarto (24.3%) del PIB agropecuario y un 1.23% del PIB total colombiano. Además, en 2018 la producción de leche reportó un aumento del 11% respecto al año anterior, lo que muestra un avance de los procesos productivos en la industria gracias a la adopción de nuevas tecnologías (CCB, 2018). Sin embargo, siguen existiendo retos para la producción lechera debido a la baja productividad y competitividad, producto de los altos costos de producción, la disminución



de las exportaciones y el crecimiento de las importaciones (Asoleche, 2017). Según Carulla & Ortega (2016), los productores con bajos costos de producción y alta productividad representan solo el 2,5% del total de productores de leche del país, lo que hace necesaria la implementación de nuevas alternativas para aumentar la productividad y rentabilidad en los sistemas de producción.

A pesar de que el sector rural colombiano cuenta con potencial para implementar desarrollos tecnológicos y generar riqueza, en términos de competitividad no presenta oportunidades claras de mejora. Gran parte de la industria rural presenta rezagos productivos y brechas tecnológicas que dificultan su transformación y crecimiento (Cerón-Muñoz & Barrios, 2019). La implementación de tecnologías como los sistemas de monitoreo computacionales, los sistemas de posicionamiento global, la ingeniería genética, la utilización de prácticas para evitar la erosión de suelos, el uso de forrajes con mayor rendimiento y calidad nutricional, la implementación de nuevas técnicas para la crianza de terneras, entre otras, permitirían mejorar la competitividad y el desempeño de los sistemas productivos, lo que conduciría a una mayor rentabilidad y sostenibilidad (Ramírez, Reyes & Garzón, 2015). Como lo indicaron Peña et al. (2014) y Hyland et al. (2018), la adopción tecnológica debe enfocarse en el aumento de la rentabilidad, la sostenibilidad y la competitividad y debe estar asociada a factores financieros.

En general, las tecnologías se clasifican en duras (tangibles) y blandas (intangibles). Las duras comprenden tecnologías antiguas de uso frecuente, como aparatos para cortar pasto, máquinas de ordeño, invernaderos, cercado de potreros, motobombas, entre otras, así como tecnologías emergentes entre las que se encuentran el sensoramiento remoto, los analizadores de imágenes hiperespectrales o de ultrasonido, robots para alimentación u ordeño y otras que surgen de ciencias de la inge-

niería o de industrias avanzadas como la automovilística y la robótica. Por su parte, las tecnologías blandas comprenden procesos que involucran o potencian el capital humano de la empresa desde el proceso de enseñanza, la gestión del conocimiento, la organización empresarial o la contabilidad (Cerón-Muñoz & Barrios 2019).

Para realizar el proceso de adopción de tecnologías innovadoras existen cinco fases: (i) el conocimiento de las tecnologías por medio de publicidad, contacto social o extensionistas; (ii) la persuasión en la que los productores amplían su percepción acerca de las características, costos y beneficios de la implementación; (iii) la decisión de implementar o rechazar la innovación; (iv) la implementación, en la que el productor adquiere un criterio objetivo a través de la evaluación de los resultados obtenidos y, de acuerdo con estos, ocurre (v) la confirmación, fase en la que el productor decide si sigue usando la innovación (adopta) o abandona el proceso (Rogers, 2003). La teoría de Rogers (2003) demuestra que la difusión o diseminación de tecnologías innovadoras es la forma en que estas se transmiten entre individuos por diferentes canales a través del tiempo y que los líderes o primeros adoptantes son los agentes de difusión más relevantes a la hora de extender la información, persuadir y soportar la toma de la decisión de adopción de otros.

A partir de la información obtenida en las fases de conocimiento y persuasión se puede elaborar un criterio acerca de la utilidad y facilidad de uso de una tecnología determinada. Davis (1986, 1989) evidenció que estos últimos dos factores son fundamentales a la hora de reflejar actitud y confianza hacia la adopción, lo cual se manifiesta posteriormente como intención de adopción tecnológica. Las bases teóricas de la adopción tecnológica son la teoría de la difusión tecnológica y la teoría del comportamiento planificado de Ajzen (1985, 1991), las cuales apoyaron el modelo de aceptación de tecnologías (TAM) planteado por Davis



(1986, 1989). Este último sugiere que la adopción de determinada tecnología se puede analizar mediante la percepción de las personas sobre la utilidad (UP) y la facilidad de uso (FU), con base en la cual se produce una actitud (A) para asumir una adopción, que a su vez da lugar a la intención de adopción (I), lo cual finalmente se traduce en la adopción de las tecnologías. La UP está dada por el grado de mejora en el trabajo o en el rendimiento que se tiene al usar la nueva tecnología (Fernández, Vallejo & McAnally, 2015; Yong, Rivas & Chaparro, 2010; Fernández, 2015). La FU está dada por el grado de esfuerzo, tiempo o conocimiento que se requieren para poner a funcionar la tecnología (Fernández, 2015) y la A, según la teoría de la acción razonada, está relacionada con la medición de la motivación o predisposición para aceptar un nuevo reto (Ajzen, 1985, 1991). UP, FU, A, I y otros conceptos se consideran como variables latentes u ocultas que son inferidas por variables observables o medibles.

El conjunto de variables latentes y observadas de un TAM puede ser analizado por modelos de ecuaciones estructurales (SEM). Un SEM permite estudiar un fenómeno multivariado que puede ser direccionado directa o indirectamente por lo cognitivo, la lógica, las teorías o fundamentos y las preguntas o hipótesis del investigador (Cerón-Muñoz & Barrios, 2019; Pérez, Medrano & Sánchez, 2013; Ruiz, Pardo & San Martín, 2010). Un TAM de Davis (1989), desde el modelo de ecuaciones estructurales, puede ser representado como se indica en la Figura 1, donde los rectángulos indican las variables observadas o medibles (VO) y los óvalos las variables latentes (VL); el tipo de relación entre dos variables está representado con flechas en uno o dos sentidos. Las VL pueden ser exógenas o endógenas, las exógenas son aquellas que no reciben la influencia de otras VL (ejemplo: UP, FU), de lo contrario es considerada endógena (ejemplo: A e I). La valoración de relaciones entre variables se

denomina cargas factoriales (Aráuz, 2015; Rosseel, 2012). Cuando una variable afecta directamente a otra se denomina carga factorial directa (ejemplo UP con la A); cuando hay otras relaciones indirectas, la carga factorial está dada por el producto de la carga factorial directa y las cargas factoriales indirectas (ejemplo: la UP influye indirectamente sobre la I, porque la UP influye en la A y la A influye sobre la I).

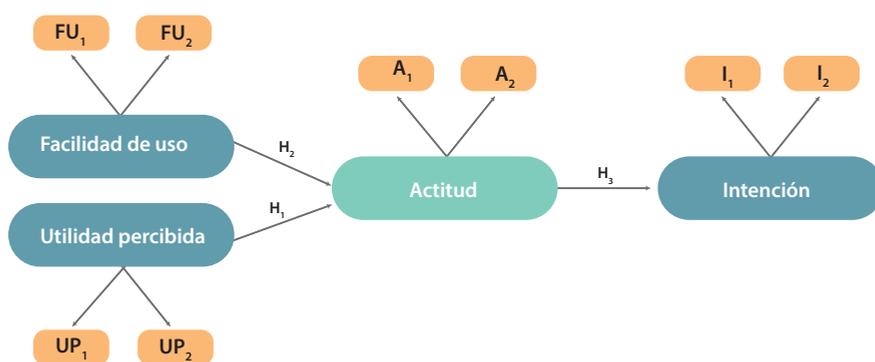


Figura 1. Modelo de adopción tecnológica, propuesto por Davis.

Fuente: Davis, 1986.

El objetivo de este estudio fue determinar la intención de adopción de tecnologías en pasturas, crianza de terneras, manejo de raciones y monitoreo de hatos por parte de productores del norte y oriente de Antioquia.

2. Materiales y métodos

El proyecto colombo holandés de capacitación y desarrollo de negocios en lechería DairyCaB se desarrolló en una cooperación entre el sector privado y público de Colombia y Holanda, con el objetivo de aumentar el rendimiento de las granjas lecheras en Colombia y el suministro de leche a la industria local, por medio de la adopción de innovaciones técnicas en diferentes áreas de intervención. Este proyecto fue finan-



ciado por la Agencia Empresarial Holandesa RVO y desarrollado por la Universidad de Antioquia, la Universidad de Wageningen y las empresas privadas Sáenz Fety, Eurofins y Barenbrug.

La coordinación general estuvo a cargo de la Universidad de Wageningen, por medio de Wim Houwers y Bram Wouters, con la supervisión de Lucia Kaal y el apoyo técnico de Ronald Zom. Por parte de la Universidad de Antioquia, el profesor Mario Fernando Cerón Muñoz ejerció el papel de coordinador y, como apoyo técnico, participaron los profesionales y los docentes Liliana Mahecha Ledesma, Joaquín Angulo Arizala, Marisol Medina Sierra, Silvio Ayala Lopera, Ricardo Rosero Noguera y José Fernando Guarín, quienes aportaron sus conocimientos en el área de la lechería para la implementación y adaptación de las tecnologías y realizaron los procesos de capacitación.

El coordinador por parte de la empresa Sáenz Fety fue Alejandro Sáenz y la asistencia técnica y capacitación dentro del proyecto la prestaron profesionales del sector con amplia experiencia, entre ellos: Raúl Rojas, Esteban Valencia, Paula Franco, Santiago Restrepo y Angélica Peña. De la empresa Eurofins ejerció como coordinador Han van de Goor y como supervisor Martin Vervoort; finalmente, por parte de Barenbrug, el coordinador fue Michael Hales y supervisó Frank Barenbrug.

El proyecto contempló tres fases. La fase 1 (*inception*) contempló la etapa de relaciones entre las entidades universitarias y las empresas de los dos países; se definieron sus roles, compromisos y estrategias para la funcionalidad del proyecto, así como las líneas de intervención, los predios y el plan de trabajo para las dos fases siguientes. La fase 2 (*innovation, demonstration, testing and dissemination*), de demostración y prueba, consistió en la implementación de las innovaciones técnicas en tres sistemas de producción: la hacienda La Montaña con un área apro-

ximada de 35.42 ha, ubicado en el Municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, propiedad de la Universidad de Antioquia (N6°26'49; W75°32'37; 2467 msnm); la hacienda Ovejas, con área aproximada de 179.9 ha, propiedad de Inversiones Malabar (N6°23'13; W75°38'57 ;2635 msnm), ubicada también en San Pedro de los Milagros, y la finca La Gaviota con área de 10.72 ha aproximadamente y propiedad de Álvaro Botero (N5°57'17; W75°22'50; 2510 msnm), ubicada en el municipio de La Unión, Antioquia. La implementación de las innovaciones partió del estudio previo de las condiciones de los predios y de la concertación de actividades con los propietarios. Esto permitió adaptar los procesos, los cuales fueron descritos y evaluados para generar protocolos. La fase 3 fue la capacitación, se utilizaron los tres sistemas productivos como fincas demostrativas y aulas de clase para técnicos y productores de la región.

A continuación se describen las innovaciones que fueron definidas en la fase 1.

2.1 Mejoramiento de pasturas

Para el mejoramiento de las pasturas utilizadas para el pastoreo del ganado en producción de leche se utilizaron tres alternativas: implementación de pasto ryegrass, implementación de asociación de pastos ryegrass y kikuyo y renovación de pasto kikuyo en las tres fincas de demostración. En el caso de la hacienda La Montaña se realizó la implementación de estas alternativas como pasturas tradicionales y en sistemas silvopastoriles (Figura 2 y Tabla 1).

Como resultado se generaron los protocolos para la implementación, manejo, fertilización y monitoreo de cada una de estas alternativas; además se realizaron procesos de demostración y disseminación de estas



Tabla 1. Intervención de los potreros de las fincas del proyecto DairyCab

Predio	Tipo de intervención	Topografía	Área (ha)
La Montaña	Establecimiento de ryegrass	Semiondulada	2,57
		Pendiente	1,13
		Ondulada	0,54
	Sistema silvopastoril con asociación ryegrass/kikuyo	Semiondulada	0,53
	Sistema silvopastoril con kikuyo renovado	Plana	0,44
		Pendiente	1,66
	Sistema silvopastoril con ryegrass	Ondulada	0,41
		Semiondulada	0,62
		Pendiente	0,72
		Ondulada	0,46
Plana		0,47	
Ovejas	Establecimiento de ryegrass	Plana	4,9
	Establecimiento de asociación de ryegrass con kikuyo	Plana	4,34
		Ondulada	1,46
	Renovación de kikuyo	Pendiente	1,9
Gaviota	Establecimiento de pasto ryegrass	Pendiente/Plana	0,38
	Establecimiento de asociación ryegrass/kikuyo	Pendiente/Plana	0,37
	Renovación de kikuyo	Pendiente/Plana	0,33

Fuente: Proyecto DairyCab



Figura 2. Mejoramiento de praderas de kikuyo, establecimiento de ryegrass y sistemas silvopastoriles implementados en el programa DairyCab.

Fuente: Proyecto DairyCab

alternativas durante su implementación. Este componente tenía como finalidad demostrar la importancia de la renovación de pasto kikuyo en zonas de fácil y difícil mecanización, teniendo en cuenta la topografía del terreno a renovar, la disponibilidad de maquinaria en el sector y el establecimiento de pasto ryegrass solo y en asociación con kikuyo. Para esto se tuvo en cuenta la evaluación del éxito de su establecimiento, la forma en que se deben hacer las primeras cosechas de acuerdo con el anclaje del pasto al suelo y la necesidad y las buenas prácticas para implementar sistemas silvopastoriles con arbustos de botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) como especie forrajera de porte mediano para el consumo por parte de los animales y árboles de aliso (*Alnus acuminata*) para el estrato alto y kikuyo o ryegrass.

Se seleccionaron las especies para los sistemas silvopastoriles de acuerdo con los siguientes criterios: el botón de oro fue elegido por su alta calidad nutricional, rusticidad, adaptabilidad y efecto de protección de la fertilidad del suelo, además de su capacidad de recuperación después de cada pastoreo. El aliso fue elegido por ser un árbol maderable no forrajero que tiene efectos de protección de la fertilidad del suelo y



genera un sombrero moderado que no afecta el acceso a la luz solar de la pradera. Los protocolos de capacitación tuvieron en cuenta la forma de seleccionar el terreno para la intervención, los procesos de labranza, análisis físico-químico del suelo y plan de fertilización, el proceso de siembra y el monitoreo de las praderas.

2.2 Cría de terneras y novillas

Como parte del manejo adecuado de las terneras se elaboró un protocolo para la crianza de terneras y novillas. Se siguieron pautas como el uso de calostro de buena calidad dentro de las primeras horas de vida para asegurar una buena transferencia de inmunidad y el uso de alojamientos adecuados para las terneras recién nacidas, con lo que se pretende proteger las terneras de climas adversos y reducir la aparición de enfermedades (Figura 3).

El propósito de este componente era demostrar que las terneras constituyen el futuro productivo de la granja y que un buen cuidado en esta etapa influye en la precocidad sexual, el éxito y la vida productivos. Este protocolo contenía información para el cuidado de las terneras desde el momento del nacimiento hasta el momento del primer servicio, con el fin de protegerlas de factores ambientales que pudiesen afectarlas y lograr así un desarrollo adecuado y precoz. En este protocolo uno de los principales temas de manejo fue la implementación de un programa de almacenamiento de calostros de buena calidad, evaluada con un refractómetro de grados brix, con el fin de suministrarlo para el correcto encaastro de terneras recién nacidas dentro de las dos primeras horas de vida, garantizando una exitosa transferencia de inmunidad.

Dentro del proyecto se realizó un ensayo de cría de terneras usando un reemplazador lácteo, con el fin de determinar si las terneras alcanzaban

un desarrollo adecuado con este tipo de alimentación. Este reemplazo tiene ventajas como ofrecer un alimento inocuo y con una composición nutricional constante, además de que se evita el uso de leche de retiro o en mal estado. Se realizó un seguimiento de las ganancias de peso de las terneras y las novillas y sus resultados fueron indicados a los participantes de las capacitaciones.



Figura 3. Manejo de terneras en el programa DairyCab
Fuente: Proyecto DairyCab

2.3 Mejora de alimento y raciones

Este componente se realizó con expertos en nutrición que formulaban el alimento concentrado (en el caso de la hacienda La Montaña, en la que se fabrica el concentrado para la finca) y el balanceo de las raciones de acuerdo con las necesidades de las vacas, los análisis bromatológicos de materias primas, pastos, alimento concentrado y suplementos ofrecidos a los animales. Para las vacas en producción de leche, el balanceo de la ración se realizó teniendo en cuenta variables como tercio de lactancia, producción y calidad de leche y requerimientos para mantenimiento (con el fin de que la ración formulada permitiera cubrir sus requerimientos sin llegar a excesos en los nutrientes, lo cual podría causar problemas metabólicos en los animales). En el caso de terneras y



novillas se realizó el balanceo de raciones teniendo en cuenta la edad y la condición corporal.

En esta innovación se demostraba la importancia de formular raciones individuales para vacas en producción, pues son factores inherentes a cada vaca los que determinan sus requerimientos. Para balancear la ración es fundamental conocer la composición química de cada alimento que se ofrece a los animales, por lo que resulta necesario realizar análisis bromatológicos de los alimentos (forrajes, concentrado, materias primas, ensilajes y otros suplementos que puedan suministrarse). De esta manera, la formulación de la ración se realiza de acuerdo con la composición química y aporte de nutrientes de cada material.

A partir de la experiencia obtenida con el mejoramiento de las raciones para la alimentación animal se elaboró una *fact sheet* (hoja informativa) sobre el tema de manejo de raciones, integrada al análisis de composición química de los alimentos por metodología de espectroscopia de infrarrojo cercano, NIRS por sus siglas en inglés. Esto teniendo en cuenta que para realizar una adecuada formulación del alimento concentrado y balanceo de la ración es indispensable conocer la calidad nutricional de las praderas y materias primas o alimentos concentrados.

Los bromatológicos se realizaron por metodología de NIRS en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad de Antioquia, en convenio con la empresa Eurofins, para realizar el montaje y calibración de un sistema de muestreo que permitiera analizar la composición química de múltiples materiales (pastos y forrajes, alimento concentrado y silos). Las muestras llegaban al laboratorio para su procesamiento (Figura 4) y para generar el espectro infrarrojo de la muestra, el cual se enviaba por medio electrónico al laboratorio de Eurofins en Holanda para su análisis, ya que esta empresa contaba con las calibraciones necesarias y una

base de más de 50 millones de datos. El laboratorio de Nutrición Animal prestó el servicio de análisis, por medio de NIRS y de otras metodologías, de pastos y forrajes (materia seca, cenizas, materia orgánica digestible, proteína cruda soluble, extracto etéreo, azúcares, fibra de detergente neutro, fibra de detergente ácido y lignina), concentrados (proteína bruta, fibra cruda, cenizas, almidón, humedad y extracto etéreo) y silos (todos los parámetros de los materiales anteriores y los valores de energía, valor relativo del alimento, ácidos butírico, acético y láctico, pH, proteína degradable en rumen y proteína no degradable en rumen).



Figura 4. Muestras de pasto y equipo NIRS para la generación de los espectros del proyecto DairyCab

Fuente: Proyecto DairyCab

2.4 Monitoreo de hatos

Este componente fue transversal a los anteriores y consistió en el manejo de registros de producción, calidad de praderas, asesoramiento remoto, tabulación y análisis de información de múltiples factores que afectan los sistemas productivos (Figura 5). Con el monitoreo de hatos se procuró demostrar la importancia del uso y análisis de información para la toma de decisiones.



Para efectuar el monitoreo de los sistemas se tomaron registros de actividades y eventos que sucedieron dentro de los sistemas productivos, como uso y caracterización de potreros, eventos relacionados con los animales (crecimiento, productivos, reproductivos, genealógicos, sanitarios, inventarios de medicamentos, calidad de leche, entre otros), eventos ocurridos en las pasturas (edades de corte, crecimiento, bromatológicos, presencia de plagas, cálculo de biomasa en los potreros, fertilizantes, entre otros) y en el uso del suelo, eventos climáticos y eventos contables y administrativos asociados al sistema de producción. El monitoreo consideró una línea base de los parámetros del sistema con constante evaluación a medida que se generaba la implementación de una nueva innovación. Los cambios en los parámetros por las innovaciones permitieron evaluar su influencia en el sistema, su relación costo-beneficio, su apoyo a la optimización de procesos, sus riesgos y sus impactos ambientales, técnicos y en el recurso humano.

Se elaboraron dos *fact sheets* sobre monitoreo de hatos, una de ellas abarcó generalidades del monitoreo de hatos, su definición, ejemplos de herramientas aplicables en los sistemas productivos y sus costos de implementación; la otra contenía herramientas para el monitoreo y control de praderas y los beneficios de estas actividades al sistema productivo.

Como principales resultados de las innovaciones implementadas se obtuvo una reducción de la fertilización nitrogenada en praderas establecidas con pasto ryegrass, reducción del costo del concentrado por la reducción del porcentaje de proteína para vacas en pastoreo de ryegrass y la diversificación de las especies forrajeras usadas en los sistemas productivos. Se promovió el uso de calostro y de adecuadas prácticas en la crianza de terneras y levante de novillas y el monitoreo de factores que pueden afectar la productividad del hato, como herramienta para la toma de decisiones oportunas.



Figura 5. Uso de pruebas y sensores para el monitoreo de hatos en el programa DairyCab

Fuente: Proyecto DairyCab

2.5 Difusión y capacitación

Con la información colectada sobre la implementación de las innovaciones y los resultados obtenidos se generaron protocolos y *fact sheets* como material didáctico. La programación de los eventos consistió en capacitaciones para productores, técnicos, estudiantes y docentes, dictadas por profesionales de la Universidad de Antioquia, Casa Toro y Sáenz Fety. En estas charlas las personas tenían la posibilidad de preguntar, opinar y contar sus experiencias sobre los temas vistos. Las capacitaciones incluían recorridos por las instalaciones de las fincas demostrativas en los que las personas podían observar la aplicación en campo del conocimiento teórico recibido en las charlas; de esta manera se dio a conocer la utilidad, aplicabilidad, ventajas e implicaciones de la implementación y mantenimiento de cada una de las innovaciones técnicas adaptadas y validadas en el proyecto (Figura 6).

Después de realizar cada proceso de capacitación se realizaron encuestas a los productores asistentes con preguntas en forma de premisas con opciones de respuesta en escala tipo Likert con valores de 1 (to-



Figura 6. Proceso de capacitación en el programa DairyCab

Fuente: Proyecto DairyCab

talmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo). Estas preguntas buscaban reflejar la percepción sobre la UP y FU de las innovaciones tecnológicas propuestas, la actitud y confianza (AC) hacia la adopción, la capacidad económica de cada productor para realizar la implementación y la intención de adoptar estas tecnologías, siguiendo un modelo TAM adaptado de Davis (1989).

Se analizaron 87 encuestas de 39 productores mediante un análisis factorial confirmatorio de un modelo de ecuaciones estructurales (SEM), usando la librería lavaan (Rosseel, 2012) del software estadístico R-project (R Core Team, 2020). El modelo fue especificado con base en un modelo TAM (Figura 1) con 16 variables observadas, las cuales reflejaban cinco variables latentes. Se plantearon relaciones de incidencia entre variables latentes, como se indica en la Figura 7.

Se tuvieron cinco hipótesis en el modelo de aceptación tecnológica: H1: la facilidad de uso percibida incide sobre la utilidad percibida; H2: la facilidad de uso percibida incide sobre la actitud y confianza; H3: la utilidad percibida incide sobre la actitud y confianza; H4: la actitud y confianza incide sobre la intención y H5: el factor económico incide sobre la intención. Se obtuvieron los valores predichos para las variables del modelo

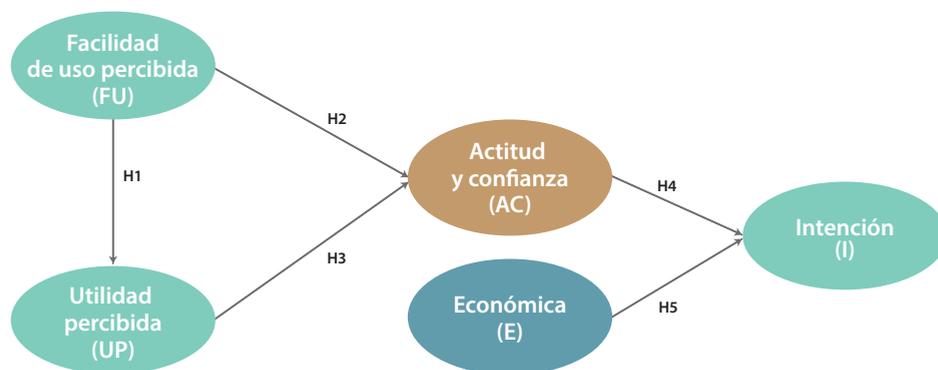


Figura 7. Variables latentes del modelo de aceptación tecnológica

Fuente: adaptado de Davis (1989)

y se realizó un análisis de varianza para determinar si existían diferencias significativas entre el tipo de innovaciones.

Adicionalmente, se desarrollaron talleres de retroalimentación para los técnicos que participaron en las capacitaciones con el fin de conocer las opiniones y sugerencias que pudieran tener acerca de las tecnologías aplicadas en el proyecto.

3. Resultados y discusión

Fue necesario re-especificar el modelo teniendo en cuenta la significancia de la VO y de los parámetros de bondad de ajuste. Se obtuvo entonces un modelo con 9 variables observadas que reflejaban cuatro variables latentes (FU, UP, AC e I) y una variable observada (económica), las cuales incidieron sobre la I (Figura 8). Se tuvo una consistencia interna dentro de las variables latentes adecuada, en la que el alpha de Cronbach fue de 0,82, 0,85, 0,86 y 0,90 para FU, UP, AC e I, respectivamente, lo cual demuestra que las variables observadas sí reflejaron conjuntamente a



su variable latente. Adicionalmente, el modelo tuvo un buen ajuste, con valores de NFI de 0,93, NNFI de 0,98, CFI de 0,98 y RMSEA 0,05, lo cual indicó que los datos observados reflejaron las asociaciones de variables observadas y latentes, así se dan por aceptadas las cinco hipótesis planteadas ($p < 0,05$).

Se calcularon los valores predichos y se encontró que la FU percibida por los productores sobre las tecnologías propuestas durante los procesos de capacitación fue de 3,9. Esto indica que los productores consideraron que estas tecnologías requieren un esfuerzo moderado para su implementación y uso.

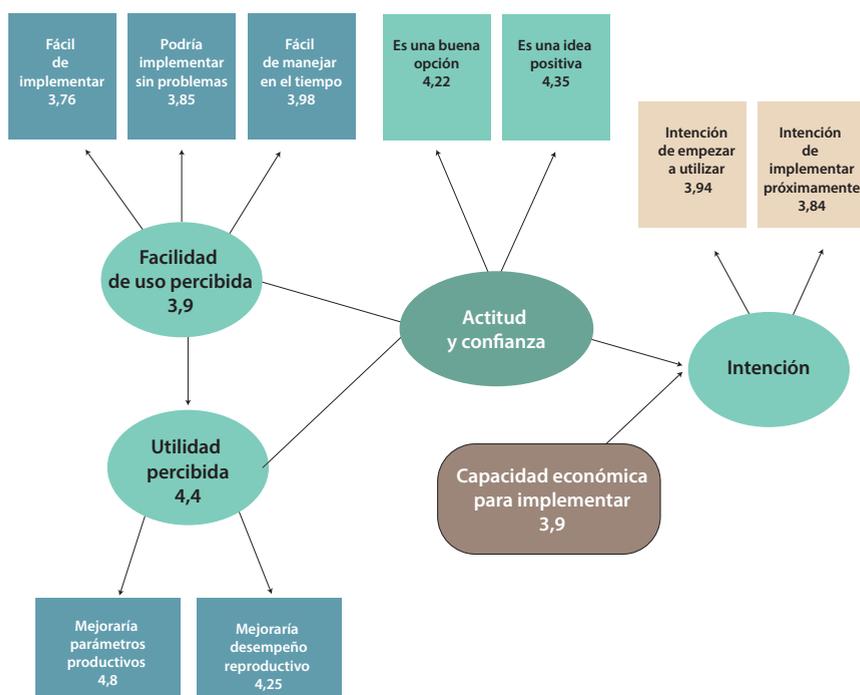


Figura 8. Cargas factoriales (valores de las flechas) y calificaciones promedio de las variables del modelo de adopción de tecnologías en producción lechera en el Norte y Oriente de Antioquia, Colombia.

Fuente: Proyecto DairyCab

Para la UP percibida se obtuvo un valor predicho de 4,4, lo que indicó que los productores consideraron que las tecnologías presentadas durante los procesos de capacitación les serían útiles para mejorar el desempeño de sus fincas.

Se encontró que la actitud y confianza hacia la adopción de las tecnologías obtuvo un valor predicho de 4,3, lo que muestra una actitud positiva y de confianza hacia la realización del proceso de adopción. La facilidad de uso y la utilidad percibida tuvieron una incidencia alta sobre este factor, con cargas factoriales totales de 0,34 y 0,57, respectivamente. Estas cargas positivas y altamente significativas ($p < 0.01$) concuerdan con lo encontrado por Robey (1979) y Schults & Slevin (1975), citados por Fernández (2015), para quienes la utilidad percibida estaba fuertemente relacionada con el uso real del sistema.

En cuanto al factor económico, se obtuvo un valor predicho de 3,9, que evidencia que para los productores encuestados las tecnologías implican un costo que podría ser asumido con algo de dificultad. Este factor podría ser afectado, según Bewley et al. (2010) y Cáceres (1995), por la forma en que la inversión en los sistemas de producción de leche en países en desarrollo como Colombia se ve limitada por la incertidumbre en los mercados y en el beneficio económico que podrían percibir de la inversión.

El valor predicho para la intención de adopción fue estimado en 3,9 y estuvo influenciado principalmente por la actitud y confianza hacia la adopción (con una carga factorial de 0,52) y en segundo lugar por el factor económico (con carga factorial de 0,45). Lo anterior indicaría que existe una intención de adopción basada más en la actitud y confianza generada a partir del criterio sobre la utilidad y la facilidad de uso de las tecnologías, que en las implicaciones económicas que puede tener la



implementación de tecnologías. Este comportamiento puede deberse a que las condiciones de mercado y de productividad de cada sistema son determinantes en los procesos de adopción, por lo que no solo depende de las condiciones económicas del acceso a la tecnología (Barrios, Restrepo-Escobar & Cerón-Muñoz, 2016).

Los logros alcanzados demostraron que la Universidad de Antioquia, desde la academia y con su imparcialidad al momento de probar y dar un veredicto sobre las tecnologías implementadas en el proyecto, motivó a las empresas a autoevaluarse y reestructurarse con el fin de ofrecer productos y servicios con mayor impacto y beneficio para la comunidad. Al mismo tiempo, la universidad también fue motivada a replantear y cambiar la percepción que tiene de las empresas y de la comunidad, en el sentido de que los proyectos deben ser construidos conjuntamente —teniendo en cuenta las necesidades sentidas de los usuarios y los retos empresariales— y bajo criterios de coherencia, pertinencia, beneficio mutuo y armonía con los territorios.

Al interior de la Universidad de Antioquia se generaron cambios y articulaciones, pues los profesores de diferentes líneas se unieron para aportar a un mismo fin, con lo que se demostró que las áreas de estudio no son aisladas y que es la articulación entre ellas la que forma profesionales integrales para el beneficio de la comunidad. Además, se puso en evidencia que la gran beneficiada de las relaciones establecidas y el fortalecimiento de los demás actores involucrados es la comunidad.

4. Conclusiones

Los productores del sector lechero del norte y oriente antioqueño tienen la intención de adoptar las tecnologías para el mejoramiento en pasturas, crianza de terneras, manejo de raciones y monitoreo de hatos.

Su intención depende de la confianza en que esa tecnología va a funcionar, de su alcance económico, de su utilidad y de su facilidad de uso. El proceso de adopción tecnológica es exitoso cuando el productor tiene acceso a información verídica e imparcial. Por consiguiente, la articulación de universidad, empresa y Estado para generar espacios demostrativos genera confianza en el uso y funcionamiento de las tecnologías.

5. Agradecimientos

Este capítulo se realizó gracias al desarrollo de las actividades del proyecto colombo-holandés de capacitación y desarrollo de negocios en lechería “DairyCaB”, un convenio entre Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia y las empresas Sáenz Fetty S.A.S., Barenbrug y Eurofins, con recursos del Ministerio de Asuntos Exteriores de Holanda administrados por la Agencia de Empresas de Holanda-RVO. Las fotografías y diseños hacen parte del acervo del proyecto y fueron tomadas por Mateo Vargas, Jhon Hoyos, Jharé Taborda, Mario Cerón, José Guarín y profesionales de la empresa Sáenz Fety.

6. Referencias

- Ajzen, I. (1985). From intention to actions: A theory of planned behavior. In: Kuhland J, Beckman J, eds. Action Control. SSSP Springer Series in Social Psychology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3_2
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Aráuz, A. F. (2015). Aplicación del análisis factorial confirmatorio a un modelo de medición del rendimiento académico en lectura. *Ciencias Económicas*, 33(2), 39-66. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/view/22216>
- Asoleche. (2017). Perspectivas del sector lácteo. Colombia. Disponible en: <https://asoleche.org/2017/07/18/perspectivas-del-sector-lacteo-parte-ii/>



- Barrios, D., Restrepo-Escobar, F. J. & Cerón-Muñoz, M. F. (2016). Antecedentes sobre gestión tecnológica como estrategia de competitividad en el sector lechero colombiano. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 28(7), Article # 125. <http://www.lrrd.org/lrrd28/7/barr28125.html>
- Bewley, J. M., Boehlje, M. D., Gray, A. W., Hogeveen, H., Kenyon, S. J., Eicher, S. D. and Schutz, M. M. (2010). Assessing the potential value for an automated dairy cattle body condition scoring system through stochastic simulation. *Agricultural Finance Review*, 70(1), 126–150. <https://naldc.nal.usda.gov/download/49122/PDF>
- Cáceres, D. M. (1995). Pequeños productores e innovación tecnológica: un abordaje metodológico. *AgroSur* 23(2): 127-139. https://www.researchgate.net/publication/234003495_Pequeños_Productores_e_Innovacio_Tecnologica_Un_Abordaje_Metodologico
- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (2018). ¿Cómo va el sector lácteo? Bogotá (Colombia). <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-Lacteo-de-Bogota-Region/Noticias/2018/Julio-2018/Como-va-el-sector-Lacteo>
- Carulla, J. E. & Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83-87. https://www.researchgate.net/publication/317017699_Sistemas_de_produccion_lechera_en_Colombia_Retos_y_oportunidades
- Cerón-Muñoz, M. F. & Barrios, D. (2019). Agricultura de precisión: una contribución a la gestión de los agronegocios desde la modelación. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32, sup (2019), 7–13 <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/340326>
- Davis, F. D. (1986). A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results. Tesis Doctoral. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge (Massachusetts), pp. 291
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <http://www.researchgate.net/publication/200085965>
- Fernández, C. P. (2015). Análisis de los factores de influencia en la adopción de herramientas colaborativas basadas en software social. Aplicación a entornos empresariales. Tesis Doctoral. Escuela técnica superior de ingenieros industriales. Madrid, pp. 308. http://oa.upm.es/38119/1/PEDRO_FERNANDEZ_CARDADOR.pdf

- Fernández, M. K., Vallejo, A. & McAnally, S. M. (2015). Apropiación tecnológica: una visión desde los modelos y las teorías que la explican. *Perspectiva Educacional*, 54(2), 109-125. <http://www.perspectivaeducacional.cl/index.php/peducacional/article/viewFile/331/167>
- Hyland, J., Heanue, K., McKillop, J. & Micha, E. (2018). Factors underlying farmers' intentions to adopt best practices: The case of paddock based grazing systems. *Agricultural Systems*. 162, 97-106 <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.01.023>
- Pérez, E. M., Medrano, L. A. & Sánchez, J. (2013). El Path Analysis: conceptos básicos y ejemplos de aplicación. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento* 5(1): 52 - 66. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/racc/article/view/5160>
- Peña, E. S., Ramírez, R. G., Osorio, G. J. (2015). Evaluación de una estrategia de fidelización de clientes con dinámica de sistemas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 14 (26), 87-104.
- Ramírez, I., Reyes, B. & Garzón, J. (2015). Innovación tecnológica en el sector agropecuario. Universidad Técnica de Machala. Machala, pp. 134.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations*. 5ta ed. New York: Free Press
- R Core Team (2020). *R: A Language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/foundation/>
- Ruiz, M. A., Pardo, A. & San Martín, R. (2010). Modelos de ecuaciones estructurales. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), 34 - 45. <https://www.redalyc.org/pdf/778/77812441004.pdf>
- Rosseel, Y. (2012) lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1-36. <http://www.jstatsoft.org/v48/i02/>
- Yong, V. A., Rivas, T. L. & Chaparro, J. (2010). Modelo de aceptación tecnológica (TAM): Un estudio para de la influencia de la cultura nacional y del perfil del usuario en el uso de las TIC. *INNOVAR Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 20(36), 187-203.

En este libro se recopilan experiencias en el uso de enfoques metodológicos cualitativos como teoría fundamentada, análisis de conversación, análisis de textos, estudios cualitativos de caso e historias de vida. También se recogen experiencias sobre revisiones sistemáticas o metanálisis como investigaciones científicas basadas en estudios originales primarios, sobre el uso de técnicas de análisis multivariado, de sistemas de ecuaciones estructurales (SEM), de metodologías educativas, de formación y capacitación y de metodologías de extensión.

Se espera que el libro inspire a los docentes a mejorar sus capacidades para la generación de nuevo conocimiento a partir de la sistematización de sus experiencias en abordajes metodológicos innovadores para la investigación.