

### Agricultura de precisión: una contribución a la gestión de los agronegocios desde la modelación

#### *Precision agriculture: A contribution to agribusiness management from modeling*

Mario Cerón-Muñoz<sup>1</sup>, Zoot, MSc, Dr; Dursun Barrios<sup>1,2</sup>, Adm, MSc

<sup>1</sup> Grupo de Investigación GaMMA. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Antioquia. UdeA. Calle 70 N° 52-21, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> Filiación actual: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Av. Carrera 30 # 45-03, Bloque 500, Bogotá, Colombia.

#### Resumen

Nueva agricultura. ¿nuevas tecnologías? La incursión de nuevas tecnologías está cambiando constantemente la industria agropecuaria en el mundo. De hecho, muchas de las tecnologías usadas en los sistemas de producción son variaciones de: 1) “tecnologías duras” usadas en otros sectores como la automovilística, la robótica, la electrónica y de empresas dedicadas a la automatización y al sensoramiento remoto y 2) “tecnologías blandas” de las ciencias sociales y políticas, del benchmarking y del empresarismo. Si se logra la articulación de estas tecnologías sería posible el crecimiento del sector agropecuario, buscando la sostenibilidad económica, ambiental, productiva y social. Por lo tanto, en los sistemas de producción y de su entorno cobran fuerza los conceptos de agricultura de precisión, de antropología rural y la gestión empresarial. El objetivo de esta conferencia es mostrar una mirada a las ciencias agrarias frente a los desafíos del siglo XXI, desde la visión del análisis estructural de la agricultura de precisión mediante el uso de tecnologías duras y blandas, sin desconocer el papel que juega el “ser” y el “recurso natural”.

**Palabras clave:** ecuaciones estructurales, empresarismo, tecnología, territorio.

#### Abstract

New agriculture, new technologies? The incursion of new technologies is constantly changing the agricultural industry around the world. In fact, many technologies used in production systems are variations of: 1) “hard technologies” used in other sectors such as motoring, robotics, electronics, automation, and remote sensing and 2) “soft technologies” from social and political sciences, benchmarking and business. If the articulation of these technologies is achieved, the growth of the agricultural sector would be possible, seeking economic, environmental, productive, and social sustainability. Therefore, the concepts of precision agriculture, rural anthropology, and business management gain strength in production systems and their environment. The objective of this lecture is to show a look at agricultural sciences in front of the challenges of the 21st century, from the vision of the structural analysis of precision agriculture through the use of both hard and soft technologies without ignoring the role of “the human being” and “natural resources”.

**keywords:** entrepreneurship, structural equations, technology, territory.

#### Agricultura de precisión y Gestión Empresarial

La “Agricultura de Precisión (AP)” es una combinación de dos palabras no exactas pero precisas, que puede ser abordada desde los enfoques de las

ciencias formales, ciencias naturales, y ciencias sociales para entender los fenómenos de la ruralidad y la producción animal o vegetal. Por su parte, la Gestión Empresarial (GE) es el proceso orientado al desarrollo de habilidades, destrezas y competencias

necesarias para que una unidad de negocio permanezca en el mercado ejerciendo cierta actividad productiva.

Como se indica en la Figura 1, la AP en el caso de la bovinocultura precisión (BP) y desde el enfoque de GE es una abstracción de comparación de los procesos mentales o una capacidad de una tecnología de obtener el mismo resultado en el tiempo, que busca la mayor información detallada de un fenómeno, actividad o proceso para la toma de decisiones en los sistemas productivos. Por consiguiente, toda tecnología conlleva a la precisión, desde que sea medible o cuantificable.

Lo anterior demuestra que la AP no está dada únicamente por el uso de tecnologías de avanzada como los sistemas de navegación satelital, sensores, imágenes y equipos robustos, como pensamos la mayoría de neófitos en el tema, sino que también puede generarse por el uso de tecnologías blandas (intangibles) y duras (tangibles), antiguas y modernas que tratan de desarrollar técnicas o acciones con mayor especificidad y reproducibilidad.

Partamos desde lo más fácil de explicar que es el concepto de “tecnologías duras”. Estas comprenden tecnologías antiguas como el uso de aparatos para cortar pasto, máquinas de ordeño, invernaderos, cercado de potreros, motobombas etc., hasta el uso moderno de sensoramiento remoto, analizadores de imágenes multiespectrales o de ultrasonido, robots para alimentación u ordeño y que surgen de ciencias de la ingeniería o de industrias avanzadas como la automovilística y robótica. Lo anterior, nada complejo

de explicar, pero muy difícil de describir si lo abordamos desde el concepto de adopción tecnológica en el sector rural (tema a tratarse posteriormente).

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, la contabilidad, la calidad, el mercadeo, la logística, el desarrollo informático y estadístico, entre otros. Por consiguiente, la psicología humana y del trabajo juega un papel importante en la agricultura de precisión, desde las ciencias sociales (El Ser en los sistemas productivos), las económicas (permanencia en el mercado) y políticas (seguridad alimentaria), porque la agricultura de precisión no obedece únicamente al uso de una tecnología moderna, se enmarca dentro de los procesos de gestión, cuya “precisión o ajuste” radica en el nivel de información y gestión de las necesidades del sistema.

### La precisión y la modelación

De acuerdo con Schulze *et al.* (2007), un sistema de precisión aplicado a temas agrícolas y pecuarios está compuesto por: un sensor que genera datos, un modelo que proporciona una interpretación de los datos, administración del proceso de toma de decisiones y finalmente la ejecución de dicha decisión (Figura 2). Sin embargo, si tomamos como base lo descrito en la Figura 1, la AP en definición global del sistema productivo es la interacción de varios componentes del sistema que

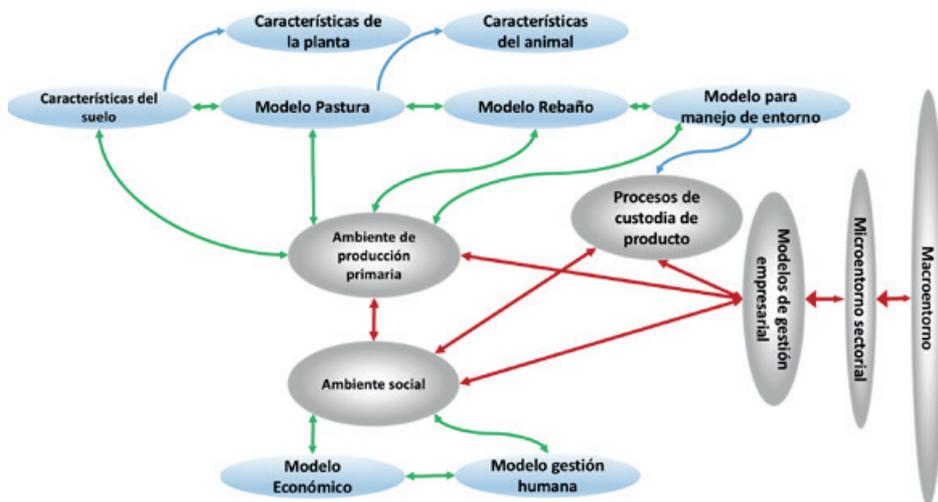
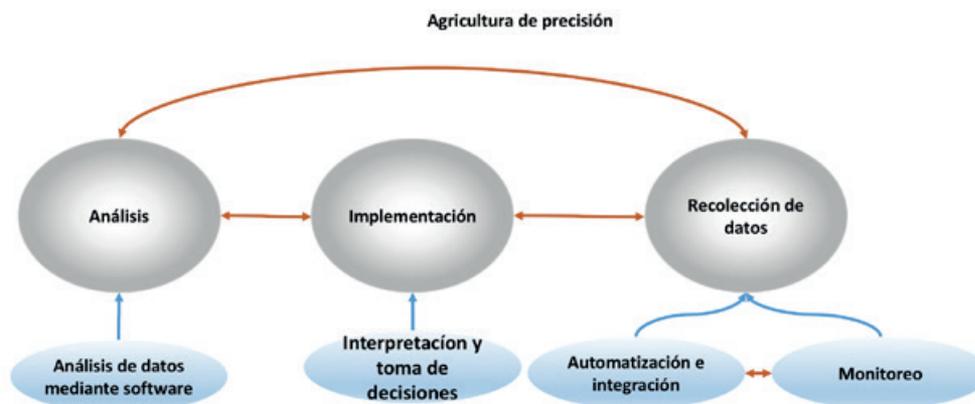


Figura 1. Bovinocultura de precisión desde el enfoque de modelación de la gestión empresarial.



**Figura 2.** Componentes básicos de la agricultura de precisión y sus relaciones (adaptado de Schulze *et al.*, 2007).

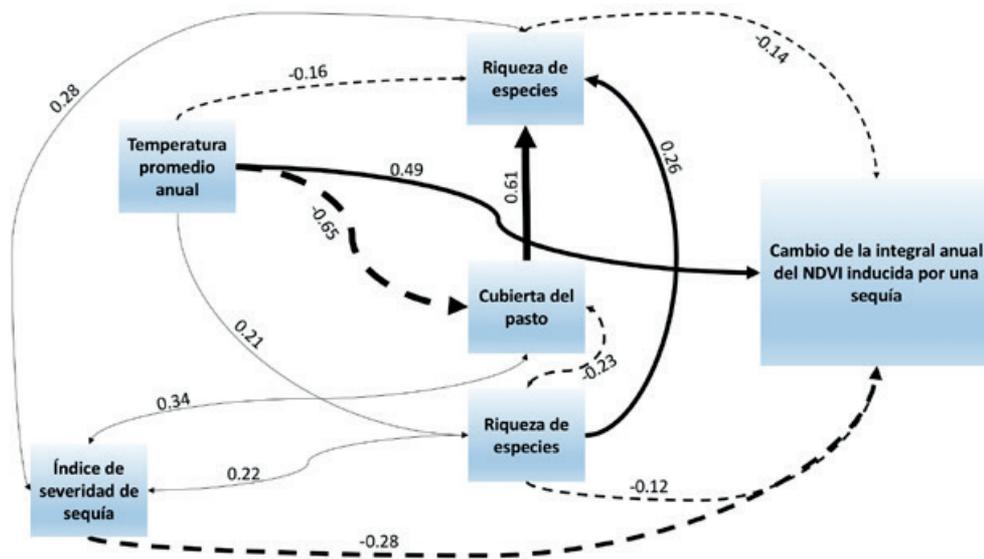
involucra aspectos físicos y humanos, los cuales pueden ser modelados. La modelación es la representación por medio de ecuaciones matemáticas que analizan o simulan un fenómeno, que en el caso de AP pueden envolver modelos de cambios en el suelo, de crecimiento de plantas y animales, modelos de la fisiología de la planta y animales, modelos de lactancia, modelos de calidad de la leche, modelos de etología de animales, modelos de variables climáticas, modelos de dinámica de gases, modelos de control de procesos de ordeño y cuidado de la leche, modelos econométricos, modelos de gestión empresarial y modelos de micro y macroentorno, semejante a lo indicado en la figura 1. La validez de un modelo dependerá del control de la información colectada, de la complejidad de los factores que afectan las variables, de la metodología de análisis y de la retroalimentación del sistema para mejorar el modelo.

Son diversas las metodologías estadísticas utilizadas para predecir o simular un fenómeno de un sistema agropecuario, en esta oportunidad describiremos los modelos de ecuaciones estructurales porque permiten estudiar un fenómeno multivariado que puede ser direccionado bajo la gestión del conocimiento de los procesos. En otras palabras, es una estadística que tiene en cuenta lo cognitivo, lo lógico y lo estructural del sistema. Un modelo de ecuaciones estructurales contiene variables simples denominadas “observadas” de carácter cuantitativo y cualitativo y variables latentes (ocultas) que son inferidas por las variables observadas. Las variables latentes pueden expresar la realidad física de un proceso (ej: funcionamiento de una máquina de ordeño, producción de forraje en el predio, econometría, inteligencia artificial, etc) o conceptos abstractos (conducta organizacional,

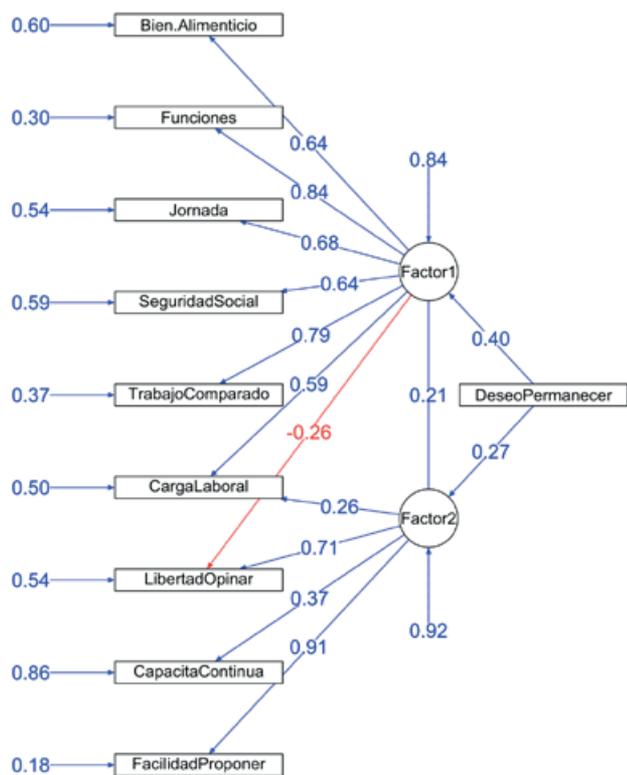
calidad de vida laboral, satisfacción de colaboradores o clientes, etc).

Para explicar un modelo de ecuaciones estructurales tomemos el trabajo de Gaitán *et al.* (2014), quienes utilizaron el índice de vegetación (NDVI) para contrastar la reducción anual de la cantidad de biomasa de pastizales, arbustos y maderables con efectos de sequía severa, del aumento de la evaporación del agua, de las temperaturas, de la diversidad de plantas, encontrando las relaciones que se indican en la Figura 3, donde los números adyacentes a las flechas son coeficientes de trayectoria que indican las fuerzas del efecto y las flechas de una sola punta indican una influencia causal hipotética de una variable sobre otra y las flechas de dos puntas indican correlación sin relación causal. Lo anterior muestra que un análisis estructural pertinente en un sistema establecer relaciones directas o indirectas de variables.

Otro ejemplo de ecuaciones estructurales desde las tecnologías blandas y el trabajo social fue el realizado por Vásquez-Jaramillo *et al.* (2018), donde se buscaba conocer las causas de deserción laboral de ordeñadores del Norte de Antioquia. Los autores encontraron que el deseo de permanecer en el trabajo estaba dada por dos variables latentes. Una variable latente era el reflejo de seis variables observadas que en su orden de importancia eran: funciones impartidas, comparación con trabajadores de otros predios, jornada laboral, bienestar alimenticio, seguridad social y carga laboral y la otra variable latente estaba establecida por las variables observadas: facilidad de proponer mejoras, libertad de opinar, capacitaciones y carga laboral (Figura 4). Este estudio encontró que las variables observadas “funciones” y “facilidad de proponer” son



**Figura 3.** Cargas factoriales del modelo de ecuación estructural del funcionamiento del ecosistema en pastizales patagónicos (adaptado de Gaitán *et al.*, 2014).



**Figura 4.** Análisis de ecuaciones estructurales del deseo de permanencia en el trabajo de ordeñadores en organizaciones lecheras del Norte de Antioquia (Vásquez-Jaramillo *et al.*, 2018).

las de mayor peso en cada constructo, concordando con lo expuesto por Barragán *et al.* (2009), donde afirmaron que la mejor forma de retener a los empleados es ampliando sus responsabilidades y haciéndolos partícipes del funcionamiento de la organización, dándoles un espacio en la toma de decisiones.

Un análisis estructural como el anterior, podría ser acoplado a una estructura compleja que permitiría estudiar factores que influyen en el desempeño y condiciones de la organización y en lo posible incluirse a sistemas robustos que involucren tecnologías duras.

### De las máquinas y los equipos a las tecnologías blandas y las prácticas de gestión

En términos generales podría afirmarse que el sector rural colombiano presenta alta frecuencia en la implementación de tecnologías duras relacionadas con aspectos técnicos. Es común encontrar tecnologías básicas como máquinas de siembra, de riego y de cosecha; equipos de ordeño; cercado de potreros; tanques de frío y en los últimos años es cada vez más rutinario el uso de tecnologías emergentes como sensoramiento remoto, imágenes multiespectrales, robots e internet de las cosas. Sin embargo, ¿cuál

es el papel que juega el ser humano y la gestión del conocimiento en este tipo de sistemas productivos? ¿Es suficiente el despliegue de tecnologías robustas para que el sistema funcione y saque provecho de las bondades de la tecnificación?

Investigaciones realizadas en nuestro medio dan cuenta de que las tecnologías blandas o aquellas relacionadas con métodos de operación y gestión del conocimiento presentan menor frecuencia, salvo el uso de asistencia técnica; explicada por el hecho de que esta asesoría es una actividad incluida en el portafolio de producto que ofrecen los proveedores de insumos (Barrios *et al.*, 2019). Este sesgo en contra de las tecnologías de gestión pone en desventaja al productor rural, y más aún al pequeño, si se considera que son precisamente las tecnologías blandas las que contribuyen con mayor eficacia a la solución de los problemas de gestión empresarial, concordando con Barrios *et al.* (2016) y Rodríguez *et al.* (2015), quienes afirmaron que el sector lechero colombiano adolece de prácticas de gestión y políticas tecnológicas. Barrios *et al.* (2019) encontraron una alta frecuencia en la implementación de tecnologías duras o estrechamente relacionadas con aspectos técnicos y encontraron menor frecuencia de uso de las tecnologías blandas relacionadas con métodos de operación y gestión del conocimiento.

Es claro que las organizaciones rurales deberán tener la capacidad de generar y transformar la información en conocimiento, para así difundirlo y aplicarlo por medio de las prácticas de gestión, con el fin de crear competencias personales, tecnológicas y organizacionales, entendiendo por tales el resultado diferenciador que contribuye a la sostenibilidad en el mercado.

La combinación de la tecnología agropecuaria, las prácticas de gestión y el apoyo a la satisfacción de necesidades básicas de los productores adoptantes, haría posible el desarrollo de este sector, manteniendo a flote la producción a pequeña escala pero con niveles productivos mejorados, toda vez que facilitaría el uso de elementos científicos y tecnológicos para mejorar las capacidades empresariales, operativas y de innovación de dichas comunidades, redundando así en la mejora de la competitividad de la industria rural.

La aplicación de las AP en concordancia con la gestión empresarial está formada por tres etapas

(definición, implementación y control), las cuales involucran el uso de tecnologías duras y blandas y se caracterizan por hacer parte de una estructura cíclica con acciones que se ejecutan y se concatenan, como se indica en la Figura 5. A continuación se hace una descripción de las etapas, según lo descrito por Robledo (2017) y como puede acoplarse en la AP:

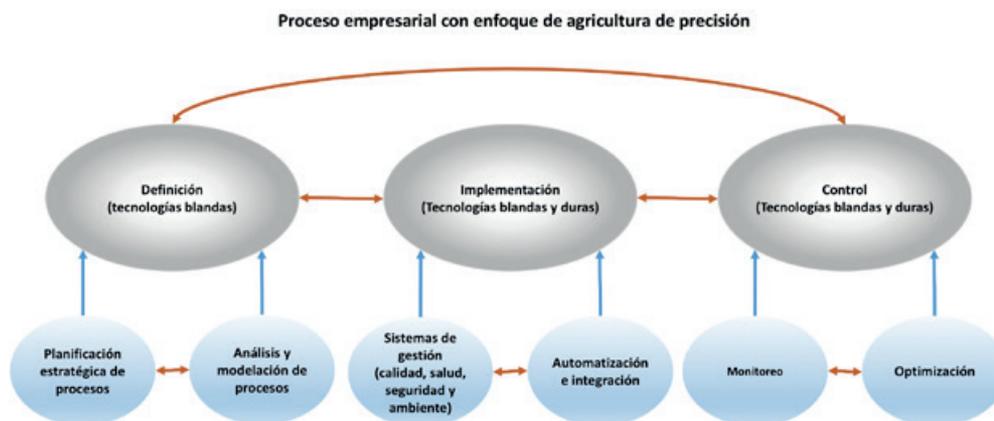
La etapa de definición está conformada por la planificación y la organización que usan como eje central las tecnologías blandas. La planificación está dada por el diseño y la hoja de ruta de la AP y la organización está dada por la modelación, manejo y diseño de los procesos y su implementación. En esta etapa se da claridad en los procesos, se simulan acciones para detectar fallas y se crean los escenarios para alinear el sistema.

La etapa de la implementación involucra tecnologías duras y blandas y está conformada por la implementación de sistemas de gestión (calidad, salud, seguridad y ambiente), la automatización y la integración. El diseño del manejo empresarial lo conforman los planes y programas del sistema de gestión de la información que generan la trazabilidad de las acciones del uso de las tecnologías, se revisan flujos y se hace gestión de excepciones y de errores y se define el modelo de datos y de reglas de control. La automatización y la integración de los procesos procura la integración de aplicaciones, sistema de datos, enlazando actividades, roles de actores y la conexión de reglas para validación y control.

Finalmente, la etapa del control que está conformada por el monitoreo (seguimiento y reportes) y la optimización para la detección de oportunidades de mejora, diseño de intervención, el perfeccionamiento, la estandarización y la documentación de los procesos.

### **Adopción tecnológica en el sector Rural**

A pesar de que el sector rural colombiano cuenta con potencial para implementar desarrollo tecnológico y generar riqueza, no presenta claras oportunidades de mejora en términos de competitividad. Gran parte de la industria rural presenta rezagos productivos y brechas tecnológicas que dificultan su transformación y crecimiento, lo cual sumado a los rápidos cambios socioempresariales generan incertidumbre en el rumbo con que operan los agronegocios. ¿Cómo afrontar este



**Figura 5.** Etapas de la agricultura de precisión desde la modelación de la gestión empresarial (adaptado de Robledo, 2017).

desafío? Si bien mucho se ha hablado hasta ahora sobre la tecnología como herramienta para incrementar la productividad, y de hecho así lo es, por lo tanto es necesario impartir una mirada más amplia sobre la manera como los recursos tecnológicos pueden aportar a la transformación e incremento de la competitividad de los sistemas productivos. La realidad en la que se desenvuelve el sector rural colombiano muestra que en general no se tienen las condiciones necesarias para desarrollar innovación tecnológica y que difícilmente los productores rurales llevarán a cabo actividades de investigación y desarrollo tecnológico, propiedad intelectual o soporte a la I+D+i.

Para dar paso a este cambio es necesario dejar atrás la mirada de la tecnología como la herramienta dura o robusta típica de máquinas y equipos, de por sí inviables para el pequeño productor, para trascender hacia un sistema de gestión que cumpla una función integradora y holística en la gestión organizacional que incorpore, aplique y multiplique el conocimiento y dé acceso a factores tecnológicos que permitan la utilización efectiva de todos los recursos del sistema para la creación de valor aún cuando se trate de producción rural a pequeña escala. Al respecto, Taramuel *et al.* (2019) encontraron que predios lecheros con mayor nivel productivo presentaron tendencias hacia una mayor adopción de tecnologías duras. Este ejercicio configura una integración triangular entre el sistema de producción, la tecnología dura y la gestión rural, siendo esta integración un elemento indispensable para el progreso tecnológico y la sostenibilidad del sistema productivo.

## Conclusiones

La agricultura de precisión abarca tecnologías tangibles e intangibles que pretenden la especificidad en la gestión de la unidad productiva para la toma de decisiones efectiva y reproducible.

La gestión empresarial agraria es un proceso que busca el desarrollo de habilidades y destrezas del agricultor, quien apoyado en tecnologías duras apropiadas logrará la sostenibilidad del negocio.

## Referencias

- Adrian AM, Shannon HN, Mask PL. Procedures perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Comput Electron Agr* 2005; 48:256-271. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.04.004>
- Barragán J, Castillo J, Villalpando P, Guerra P. Estrategias de retención de empleados eficientes: Importancia estratégica de la fidelización de los empleados en organizaciones internacionales. *Innovaciones de Negocios* 2009; 6:33-43
- Barrios D, Restrepo-Escobar FJ, Cerón-Muñoz MF. Adopción tecnológica en agronegocios lecheros. *Livestock Res Rural Dev* 2019; 31: Article #116. <http://www.lrrd.org/lrrd31/8/cero31116.html>
- Barrios D, Restrepo-Escobar FJ, Cerón-Muñoz MF. Antecedentes sobre gestión tecnológica como estrategia de competitividad en el sector lechero colombiano. *Livestock Res Rural Dev* 2016; 28: Article #125. <http://www.lrrd.org/lrrd28/7/barr28125.html>
- Fan Y, Chen J, Shirkey G, John R, Wu SR, Hogeun P, Shao Ch. Applications of structural equation modeling (SEM) in

- ecological studies: an updated review. *Ecol Process* 2016; 5: 19. <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0063-3>
- Ferrández-Pastor FJ, García-Chamizo JM, Nieto-Hidalgo M, Mora-Martínez J. Precision agriculture design method using a distributed computing architecture on internet of things context. *Sensors* 2018; 18: 1731. <https://doi.org/10.3390/s18061731>
- Gaitán JJ, Bran D, Oliva G, Maestre FT, Aguiar MR, Jobbágy E, Buono G, Ferrante D, Nakamatsu V, Ciari G, Salomone J, Massara V. La riqueza de especies vegetales y la cobertura de arbustos atenúan los efectos de la sequía en el funcionamiento del ecosistema en los pastizales patagónicos. *Biol Letón* 2014; <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0673>
- Jones JW, Antle JM, Basso B, Boote KJ, Conant RT, Foster I, Godfray HCJ, Herrero M, Howitt RT, Janssen S, KeatingBA, Muñoz-Carpena R, Porter CH, Rosenzweig C, Wheeler TR. Toward new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural system science. *Agr Syst* 2017; 155:269-288
- Lindblom J, Lundström, C, Ljung M, Jonsson A. Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. *Precision Agric* 2017; 18: 309. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-016-9491-4>
- Quevedo HI, Rodríguez LY, Hernández APM, Freire RE, La aplicación de la Agricultura de Precisión: su impacto social. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 2006; 15: 42-44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215309>
- Robledo P. No es suficiente con una gestión de procesos. albatIAN innovation consulting. Blog 2017; Access date:20-07-2019] URL: <https://albatian.com/es/blog/no-es-suficiente-con-una-gestion-de-procesos/>
- Rodríguez HH, Ramírez CJ, Restrepo LF. Factores que influyen la adopción de tecnología de gestión en producción lechera. *Temas Agrarios* 2015; 20:36-46. <http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/746/1048>
- Schulze C, Spilke J, Lehner W. Data modeling for precision dairy farming within the competitive field of operational and analytical tasks. *Comput Electron Agr* 2007; 59:39-55. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.001>
- Swamidass P, Anand N. What top management thinks about the benefits of hard and soft manufacturing technologies. *IEEE T Eng Manage* 2004; 51:462 - 471. DOI: 10.1109 / TEM.2004.835090
- Taramuel J, Barrios D, Cerón-Muñoz M. Adopción tecnológica en sistemas de producción de leche del resguardo indígena de Cumbal en el departamento de Nariño, Colombia. *Livestock Res Rural Dev* 2019. 31: Article #59. <http://www.lrrd.org/lrrd31/4/ceron31059.html>
- Vásquez-Jaramillo C, Barrios, D, Cerón-Muñoz MF. Estudio exploratorio de la calidad de vida en el trabajo de ordeñadores de sistemas de producción de leche. *Arch Zootec* 2018; 67: 228-233. 2018. <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/view/3658>