



## Revisión [Review]

**ESTRATEGIAS TECNOLOGICAS PARA LA INTENSIFICACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD GANADERA EN CONDICIONES DE SABANAS INUNDABLES EN LA ORINOQUÍA COLOMBIANA<sup>†</sup>**

**[TECHNOLOGICAL STRATEGIES FOR LIVESTOCK PRODUCTIVITY INTENSIFICATION UNDER FLOODED SAVANNAS CONDITION OF COLOMBIAN ORINOCO]**

**M. Vélez-Terranova**

*Unidad de formación y docencia, Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquía. Kilómetro 9 vía a Caño Limón, Arauca, Colombia. E-mail:*

*[ovelez@unal.edu.co](mailto:ovelez@unal.edu.co)*

*\*Corresponding author*

**RESUMEN**

Se estima que la ganadería en las sabanas inundables de la Orinoquía Colombiana se desarrolla en unos 5 millones de hectáreas ubicadas entre los departamentos de Casanare y Arauca, especialmente para la cría y levante de bovinos en pastoreo. La dinámica hidrológica de la zona y la variabilidad espacial y temporal del forraje, en conjunto con los manejos extensivos propios de los sistemas ganaderos de la región han resultado en bajos índices productivos, reproductivos y un elevado impacto ambiental. Esta actividad, debe sufrir grandes modificaciones que promuevan un mayor desarrollo acorde con los objetivos requeridos para afrontar el cambio climático. Algunas evidencias sugieren que el manejo del pastoreo, agua y la integración de árboles y arbustos, son prácticas que brindarían grandes beneficios productivos y ambientales, incrementando la resiliencia de los sistemas ganaderos en sabanas inundables y promoviendo la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. La integración de nuevas áreas del conocimiento como la fenómica y el “big data”, se convierten en alternativas de investigación útiles para entender en mayor proporción las interacciones biológicas complejas que suceden en este ecosistema, facilitando la creación de programas de manejo que permitan maximizar la productividad y bienestar animal, reduciendo el impacto ambiental asociado con esta actividad.

**Palabras clave:** Sostenibilidad productiva; sabanas inundables; ganadería; adaptación; cambio climático.

**SUMMARY**

It is estimated that livestock activity in Colombian Orinoco flooded savannas is develops on some 5 million hectares located between Casanare and Arauca departments, especially for breed and raise grazing cattle. The hydrological dynamics of the area and the spatial and temporal variability of forage, in conjunction with the characteristic extensive management of livestock systems of the region, have resulted in low productive and reproductive performance and a high environmental impact. This activity must undergo major changes to promote further development in line with the objectives required to address climate change. Some evidence suggests that management of grazing, water and trees and shrubs integration, are practices that would provide great productive and environmental benefits, increasing the livestock systems resilience in flooded savannas and promoting biodiversity conservation and maintenance of ecosystem services. The integration of new knowledge areas such as phenomics and “big data”, become useful research alternatives to understand in greater proportion the complex biological interactions that occur in this ecosystem, facilitating the creation of management programs that maximize productivity and animal welfare, while reducing the environmental impact associated with this activity.

**Keywords:** Productive sustainability; floodable savanna; livestock; adaptation; climate change.

**INTRODUCCIÓN**

Actualmente, en diversos países se está promoviendo la intensificación ganadera como uno de los principales medios para incrementar la productividad y reducir su impacto ambiental (FAO, 2017a). El termino intensificación se refiere a incrementar la

producción de productos de origen animal por unidad de área, lo que permite un uso eficiente de los recursos. Sistemas más intensivos aseguran un balance nutricional adecuado para los animales, disponibilidad de agua, sombra, suplementación mineral, entre otros, lo que se ve reflejado en el desempeño animal (Latawiec *et al.*, 2014). En condiciones tropicales con

<sup>†</sup> Submitted January 30, 2019 – Accepted April 30, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462

bovinos en pastoreo, se han observado varios modelos de intensificación sostenible de la ganadería, entre los que se destacan los sistemas silvopastoriles y los sistemas integrados de producción pecuaria que incluyen cultivos y ganadería (De Moraes *et al.*, 2014; Broom *et al.*, 2013).

La región de la Orinoquía representa el 22% del territorio colombiano con 25.4 millones de hectáreas de las cuales el 58% está dedicada al uso pecuario (Lafaurie, 2011). En la región existen unos 4.7 millones de cabezas de ganado lo cual representa aproximadamente el 21% del inventario ganadero nacional (Fedegan, 2013). Parte de la actividad ganadera se desarrolla en condiciones de sabanas inundables, las cuales alcanzan más de 5 millones de hectáreas ubicadas entre los departamentos de Casanare y Arauca, en donde se concentra el 60% de la población bovina de la Orinoquia (Peñuela *et al.*, 2011; Fedegan, 2013).

Las sabanas inundables son de importancia para el desarrollo de la cría y levante de bovinos en pastoreo extensivo de gramíneas y leguminosas nativas, que constituyen cerca del 90% del alimento disponible para los animales. El régimen de lluvias monomodal presente en la zona (lluvias: abril-noviembre; sequía: diciembre – marzo) genera una dinámica hidrológica que determina la disponibilidad de plantas nativas en las diferentes unidades fisiográficas presentes en estas sabanas (banco, banqueta, bajos y esteros – Figura 1). Es usual que la mayor diversidad de especies se encuentre en los bancos, banquetas y bajos, con una menor presencia a nivel de esteros. Las principales especies de gramíneas pertenecen a los géneros *Axonopus*, *Paspalum*, *Panicum*, *Andropogon*, *Leptocoriphium*, *Sporobolus*, *Leersia*, *Parateria*, *Hymenachne* y *Acroceras*, mientras que en leguminosas se encuentran los géneros *Desmodium*, *Centrosema*, *Calopogonium*, *Eriosema*, *Phaseolus* y *Aeschynomene*, cuya presencia varía dependiendo la posición fisiográfica (Pérez y Vargas, 2001). Las zonas más altas donde se encuentran los bancos y banquetas constituyen la base forrajera para la ganadería durante la época de lluvias, mientras que las zonas de bajos y esteros soportan esta actividad en las épocas secas (Peñuela *et al.*, 2011).

Las condiciones climáticas adversas y los manejos extensivos propios de los sistemas ganaderos presentes en las sabanas inundables han resultado en bajos índices productivos y reproductivos. Es común encontrar bajos índices de natalidad (33 – 45%), bajos pesos al destete (145-165 Kg), una elevada edad al primer parto, largos intervalos entre partos (670-811 días) y bajas tasas de ganancia de peso (Ocampo y Peñuela, 2014). Bajo estas condiciones, la actividad ganadera también es reconocida por una escasa adopción tecnológica y que juega un papel importante

en el cambio climático (PEDCTI, 2013; Ocampo y Peñuela, 2014).

Reconociendo que el mayor impacto ambiental es frecuentemente asociado a los sistemas extensivos con bajos índices productivos (Latawiec *et al.*, 2014), es evidente que la ganadería en sabanas inundables debe sufrir grandes modificaciones para alcanzar la productividad deseada. El objetivo de la presente revisión, es discutir sobre algunas alternativas productivas que pueden ser viables bajo estas condiciones y que permitirían reconvertir los sistemas ganaderos tradicionales hacia sistemas más productivos y menos vulnerables frente al cambio climático, manteniendo la biodiversidad en la zona, los servicios ecosistémicos y la interacción con otras especies animales. A su vez, se discuten sobre nuevos métodos de investigación útiles para incrementar el conocimiento sobre las complejas interacciones biológicas que ocurren en este ecosistema.

### Panorama actual

El manejo empírico y la baja implementación tecnológica en los sistemas ganaderos de la región se han visto reflejados en sistemas ineficientes y poco competitivos, cualquier intervención que se realice, por pequeña que sea, puede generar cambios significativos en los niveles productivos. Entre las principales limitantes asociadas a los bajos desempeños productivos de los animales se encuentra: una nutrición pobre e inadecuada, déficit hídrico tanto para consumo animal como para los forrajes, el sobrepastoreo, la falta de suplementación en épocas críticas (máxima sequía e inundación), desaprovechamiento de la variabilidad y disponibilidad forrajera presentes en las diferentes unidades fisiográficas, estrés calórico por efecto de las altas temperaturas durante la época seca, no suplementación mineral, sabanas desarborizadas, entre otros (Huertas, 2014; Sequera y López-Hernández, 1999; FAO, 2017a). A pesar de que existen estrategias productivas o prácticas que permiten sobrepasar estas limitantes, muchas de ellas han sido diseñadas para ambientes que difieren al de la sabana inundable. La variabilidad espacial y temporal de las unidades fisiográficas en la sabana inundable, dificulta la adopción de un plan único de manejo. De esta manera, es necesario el establecimiento de estrategias de manejo flexibles basados en la heterogeneidad del ambiente y la dinámica de inundación (Santos *et al.*, 2004).

El conocimiento que se tiene acerca de la relación ganadería y la oferta forrajera presente en la sabana inundable aún es deficiente, lo que dificulta el diseño de estrategias productivas adecuadas para la zona. Ejemplo de ello, es el poco conocimiento sobre la oferta, calidad, fenología y digestibilidad de los

forrajes nativos en cada una de las épocas, la estacionalidad de las pasturas útiles en ganadería, y otras variables (rotaciones, capacidad de carga animal, manejos para el máximo aprovechamiento de las pasturas, etc) que promuevan un uso más tecnificado y eficiente de los forrajes nativos (Ocampo y Peñuela, 2014). Las experiencias en otros países, en regiones con condiciones muy similares a las de las sabanas inundables como lo es el pantanal en Brasil o las sabanas inundables del estado Apure en Venezuela, han demostrado que, con modificaciones en los manejos, es posible el desarrollo de una actividad ganadera sostenible bajo estas condiciones (Eaton *et al.*, 2011; Sequera y López-Hernández, 1999).

### Estrategias productivas

Entre las principales alternativas productivas que promueven la intensificación ganadera en condiciones de sabanas inundables, se centran en aspectos relacionados con el manejo y nutrición, que son los factores primarios más limitantes dentro del proceso productivo (Santos *et al.*, 2002; Ocampo y Peñuela, 2014; Sequera y López-Hernández, 1999; FAO, 2017a). Las estrategias se basan en el manejo del recurso hídrico en épocas secas, establecimiento de sistemas de pastoreo rotacional con plantas nativas, suplementación estratégica en épocas críticas y la integración de árboles y arbustos dentro de las zonas de pastoreo. De acuerdo con FAO (2017a) la implementación de este tipo de tecnologías para mejorar el rendimiento, permiten incrementar el beneficio neto económico en un corto tiempo y a su vez reducir la huella de carbono que se le atribuye a esta actividad.

### Manejo del recurso hídrico

Una de las principales limitantes para el desarrollo de la ganadería en sabanas inundables, es la baja disponibilidad de agua durante la época seca, generando alta mortalidad animal y reduciendo la calidad y cantidad de los forrajes (Sequera y López-

Hernández, 1999; Ocampo y Peñuela, 2014). Considerando que el cambio climático puede generar escenarios más extremos de sequía (Joyce *et al.*, 2016), es necesario encontrar alternativas que permitan la recolección de aguas durante las épocas de lluvias, para su posterior uso en las épocas secas. En Venezuela, se han construido módulos o diques los cuales brindan la posibilidad de almacenar un volumen determinado de agua que se drena a través de compuertas durante la época seca. Esta agua sirve para el consumo animal, y para garantizar una producción forrajera continua de especies hidrófilas de mayor valor nutricional para los animales. El manejo de las sabanas con los módulos ha permitido incrementar la carga animal en aproximadamente un 600 % (Sequera y López-Hernández, 1999; Torres, 1994). A pesar de que la construcción de módulos es costosa, aun así, es posible la modulación a pequeña escala. En Arauca, Lizarazo *et al.* (2001) propusieron una estructura en material arcilloso compactado el cual denominaron “tapa tecnificada”, con la intención de retener agua para su uso en las épocas críticas de sequía. Estas estructuras podrían ser consideradas en los sistemas ganaderos de la región, para afrontar los nuevos escenarios del cambio climático, favoreciendo la explotación ganadera y generando un ecosistema adecuado para albergar otras especies como aves, cerdos, chigüiros, etc. (Ocampo y Peñuela, 2014).

### Pastoreo rotacional

El desconocimiento y la falta de un manejo adecuado de las pasturas es otra de las grandes limitantes que afectan la ganadería en sabanas inundables. Se requiere incrementar el conocimiento sobre la diversidad de plantas y su dinámica para definir estrategias de manejo que permitan el máximo aprovechamiento de este recurso nativo en la producción animal (Santos *et al.*, 2004). El manejo de los animales en pastoreo continuo genera sobrepastoreo, lo que limita el crecimiento forrajero y afecta negativamente los atributos físicos del suelo.

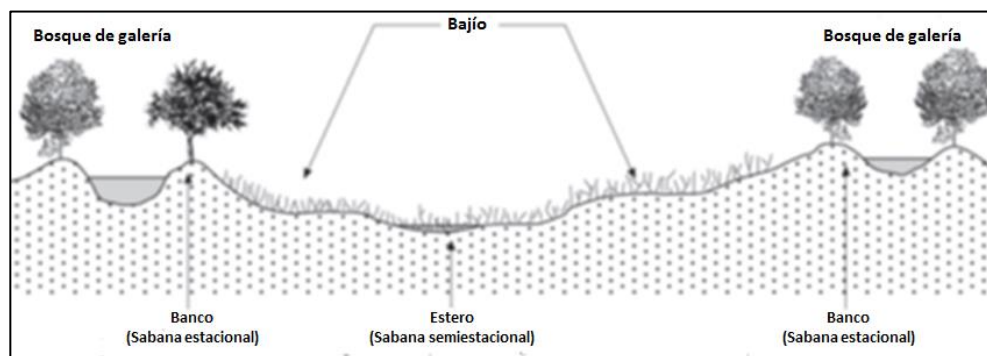


Figura 1. Unidades básicas de las sabanas inundables: 1) banco (sabana estacional), 2) bajos (sabana hiperestacional), y 3) estero (sabana semiestacional), basado en la división de Sarmiento y Pinillos (2000).

Adaptado de: (Jongman *et al.*, 2008)

Carvalho *et al.* (2007) demostraron que, para suplir sus requerimientos nutricionales, los animales caminan más y pastorean por más tiempo en un mismo lugar, cuando tienen una baja disponibilidad de forraje. Para el caso de pastoreo continuo, los autores mencionados determinaron que por cada centímetro en que se reduce la altura del forraje, los animales incrementan 183 veces el número de pasos, de esta manera, se generan incrementos en los niveles de compactación del suelo, siendo este efecto mayor cuando se consideran grupos de animales. El componente racial es otro factor para considerar en los sistemas ganaderos en sabanas inundables, en donde el genotipo predominante son las razas cebuinas (Huertas, 2014). Este tipo de animal presenta altos pesos y tamaños corporales lo que incrementa sus requerimientos nutricionales (Hersom, 2017) convirtiéndose en un gran inconveniente dadas las limitaciones nutricionales de la zona, reflejándose en bajos desempeños productivos (Zoby y Holmes, 1983). Bajo estas condiciones, donde el ambiente productivo es adverso y restrictivo (clima, nutrición, problemas parasitarios), la identificación de un genotipo que soporte estas limitantes es un factor primordial para el mantenimiento de los sistemas. Una alternativa productiva es el uso de recursos genéticos bovinos criollos, de los cuales existen diversidad de razas (Casanareño, San Martinero, Romosinuano, etc.), que se han adaptado a las condiciones adversas del trópico, y que podrían ser consideradas en sistemas de cruzamientos (Martínez, 2014) como herramienta productiva sostenible de bajo costo, que permita explotar las propiedades adaptativas de estos animales a través de la heterosis o vigor híbrido (Thornton, 2010).

El pastoreo rotacional es una alternativa que es factible de realizar en sabanas inundables. Eaton *et al.* (2011) compararon el pastoreo continuo y el rotacional sobre pasturas nativas, en un sistema ubicado en el Pantanal Brasil, y demostraron que el manejo rotacional incrementó hasta 6 veces la capacidad de carga animal, mejoró las condiciones de las pasturas nativas y el desempeño productivo y reproductivo del hato. Para la implementación de sistemas de pastoreo rotacional en sabanas inundables, no solo será suficiente con la división total del área en zonas homogéneas, también se tendrá que garantizar la representatividad de las diferentes unidades fisiográficas presentes en la sabana (banco, bajos y esteros) para garantizar el acceso a los animales de pasturas de buena calidad y disponibilidad durante las diferentes épocas del año (Ocampo y Peñuela, 2014).

El pastoreo rotacional es una de las principales estrategias para incrementar la capacidad de carga de las pasturas, debido a que permite mantener un control sobre la altura de los forrajes, lo que garantiza un uso eficiente y la persistencia de estos, previene el sobrepastoreo, la erosión y compactación del suelo

(Latawiec *et al.*, 2014). Debido al pastoreo moderado de los forrajes se incrementa la acumulación de carbono en el suelo a causa de una mayor producción de biomasa forrajera, además se aumentan los niveles de agregación en el suelo y otras propiedades físicas, químicas y biológicas (Carvalho *et al.*, 2010).

### Manejo animal y suplementación estratégica

Considerando que es poco frecuente que los forrajes puedan suplir todos los requerimientos nutricionales de los animales, la suplementación (energética, proteica, mineral) en las épocas más adversas, se convierte en otra alternativa para el mejoramiento de la ganadería (Ocampo y Peñuela, 2014). Santos *et al.* (2002) demostraron que los bovinos con manejos propios de las sabanas inundables requieren de alguna forma de suplementación, y que esta varía en función del ambiente productivo y condiciones climáticas (lluvia o sequía). Peñuela *et al.* (2012) evaluaron en las sabanas inundables del Casanare, Colombia, el efecto de la suplementación con un bloque multinutricional energético sobre parámetros reproductivos en vacas, y encontraron mayores tasas de concepción y mejores condiciones corporales. En un experimento realizado por 4 años en Meta, Colombia, Vera y Ramírez-Restrepo, (2017) compararon el efecto del destete precoz de terneros de carne a los 90 días, los cuales continuaban su crecimiento en pequeñas áreas de pasturas mejoradas hasta aproximadamente 8 meses de edad, vs el destete tradicional a los 240-270 días, donde la cría permanecía con su madre. Una vez finalizado el destete de ambos grupos de animales (destete precoz y tradicional), continuaban su crecimiento en sabanas nativas. Los resultados mostraron que los animales destetados precozmente presentaron bajos pesos en un principio, no obstante, el crecimiento compensatorio permitió que, a los 400 días, ambos grupos lograran pesos similares. Adicionalmente, las vacas destetadas de manera precoz alcanzaron mayores pesos y un mejor desempeño reproductivo en comparación con las vacas que recibieron el manejo tradicional. El estudio anterior, demuestra la posibilidad de combinar el uso de pasturas mejoradas con sabanas nativas para el mejoramiento de la productividad en ganado de carne. En sistemas extensivos en el Uruguay, las prácticas de restringir el amamantamiento del ternero por 12 días (desde el día 60 al 72 posparto) en conjunto con una suplementación energética de corto plazo (salvado de arroz por 22 días) incrementó la tasa de preñez en novillas con condiciones corporales < 5 (escala de 1-8) (Do Carmo *et al.*, 2016). Otros estudios sugieren que, con solo el manejo de la carga y distribución del pastoreo, en conjunto con una baja utilización de la pastura (20-25% en pastos nativos) se pueden lograr niveles productivos aceptables (Poppi *et al.*, 2018; O'Reagain *et al.*, 2011). De esta manera, el manejo de los animales en ciertas etapas del crecimiento y la suplementación en periodos de

escases de alimentos permite reducir el impacto negativo del ambiente sobre el desempeño animal y por lo tanto promueve la eficiencia productiva.

### **Transición a sistemas integrados de producción pecuaria**

La presencia de árboles es muy limitada en las extensas áreas de sabana inundable. De los ecosistemas presentes, el que más soporta la ganadería durante la mayor parte del año son los pastizales. Este escenario presenta diferencias ambientales y biológicas con respecto a los ecosistemas boscosos presentes en la zona. En épocas secas, el pastizal puede perder cerca del 50% de la vegetación y alcanzar temperaturas promedio de 45.5 °C (Montaño y García-Conde, 2016). Estas condiciones aumentan la carga calórica de los animales alejándolos de su zona termoneutral, reduciendo el consumo de alimento y generando otras alteraciones metabólicas y hormonales que afectan negativamente el desempeño productivo y reproductivo (Sullivan *et al.*, 2011; Bertocchi *et al.*, 2014). Los sistemas integrados de producción pecuaria que incluye la combinación de árboles, arbustos, pasturas y ganado, ofrece una solución con gran potencial para incrementar la diversidad, productividad y economía de los sistemas, junto con la sostenibilidad ambiental. De esta manera se reduce la implementación de sistemas ganaderos especializados los cuales han mostrado generar problemas ambientales y de sostenibilidad económica (Sulc y Franzluebbbers, 2014).

La siembra de árboles en condiciones de sabana inundable se puede realizar directamente en las zonas más altas como bancos o banquetas, o en partes inundables usando la técnica de silvotermitero propuesta por Galindo *et al.* (2012), la cual consiste en la siembra de los árboles en montículos que protegen las raíces durante la inundación permitiendo aumentar la densidad de árboles bajo estas condiciones, contribuyendo a mejorar la fertilidad del suelo, la biomasa forrajera y brindando un ambiente adecuado para el bienestar animal. Con la participación del 20 al 25% de árboles, es posible reducir el efecto negativo de las altas temperaturas en épocas secas, ya que se genera un microclima parecido al de bosque continuo (Montaño y García-Conde, 2016), generando un ambiente más favorable para la producción ganadera.

En condiciones de sabanas inundables existe diversidad de plantas arbustivas y arbóreas con un potencial nutricional alto y propiedades antimetanogénicas que podrían ser integradas dentro de los sistemas ganaderos (Vélez *et al.*, 2015). Este tipo de asociación brinda ventajas productivas y ambientales asociadas a un aumento en cantidad y calidad de la dieta de los rumiantes, capacidad de carga, carbono y nitrógeno fijado en el suelo y se

reducen los procesos de erosión y emisión de metano entérico (FAO, 2017a; Latawiec *et al.*, 2014). El uso de pasturas mejoradas utilizadas de manera estratégica como complemento del pastoreo de sabanas nativas, se convierte en otra alternativa que promueve la intensificación productiva de los sistemas, y brinda otros servicios ecosistémicos (Vera y Ramírez-Restrepo, 2017). La transición hacia sistemas integrados de producción también ofrece beneficios ecológicos al incrementar la biodiversidad, mejorar la calidad del agua y proporcionar un hábitat adecuado para otras especies silvestres (Sulc y Franzluebbbers, 2014). La transformación de la ganadería en sabanas inundables a su vez permitiría mejorar la rentabilidad de los sistemas, a través de la venta de madera, por servicios ecoturísticos, y en un futuro por el pago por servicios ambientales.

El manejo integrado del agua, pasturas, suplementación y la implementación de sistemas agroforestales bajo estas condiciones, conlleva a una mayor intensificación de la actividad ganadera en sabanas inundables, acordes con los objetivos de desarrollo requeridos para afrontar el cambio climático. Igualmente, se aumenta la eficiencia productiva y se reducen los procesos de deforestación y daños ecosistémicos que pueda acarrear el mantenimiento de esta actividad. De esta manera grandes beneficios ambientales, económicos y sociales se esperan de la transformación de los sistemas ganaderos (Latawiec *et al.*, 2014). En Brasil, estudios demuestran que la capacidad de las pasturas para sostener la ganadería se encuentra entre 32-34% de su máximo potencial, y que un incremento en la productividad de las pasturas a 49-52% permitiría cubrir las demandas de la actividad ganadera hasta por lo menos el año 2040, sin necesidad de afectar otros ecosistemas naturales (Strassburg *et al.*, 2014).

La adopción de las prácticas anteriormente mencionadas, brinda la oportunidad de lograr la intensificación sostenible de la ganadería en sabanas inundables. Infortunadamente, en la región, una de las principales limitantes productivas está asociado a la baja implementación tecnológica en los sistemas, situación determinada en gran parte, por la incredulidad de los ganaderos ante el cambio, siendo solo unos pocos los que usan programas de mejoramiento. Para promover una mayor implementación tecnológica es necesario capacitar y sensibilizar a los productores, y al mismo tiempo demostrar los beneficios sociales, ambientales y económicos de la adopción de este tipo de prácticas (PEDCTI, 2013; FAO, 2017a, 2017b).

### **Alternativas de investigación**

El bajo índice productivo en los sistemas ganaderos ubicados en condiciones de sabanas inundables se

atribuye a los manejos extensivos, al uso en la mayoría de explotaciones de recursos zoogenéticos no adaptados y al desconocimiento de los procesos biológicos que se generan de la interacción suelo – planta – animal bajo estas condiciones. Por tanto es necesario la transformación del enfoque actual con el que se toman registros fenotípicos en plantas y animales, para generar o incrementar la disponibilidad de datos que puedan ser analizados para la toma de decisiones. En condiciones de pastoreo, el estudio, monitoreo y manejo animal se convierte en un reto debido a la alta variabilidad espacial y temporal presente con estos manejos. Una alternativa para sobrepasar estas limitantes está asociada al uso de sensores remotos y otras herramientas tecnológicas (Greenwood *et al.*, 2016).

Un área promisoría para el estudio de bovinos en pastoreo es la fenómica, la cual hace uso de equipos tecnológicos (sensores, imágenes infrarrojas, escáneres, etc.) propios de la agricultura y ganadería de precisión (Jiménez *et al.*, 2017; Laca, 2009), en busca de generar nuevos métodos que permitan la fenotipificación en tiempo real de diversos caracteres en plantas o animales, incluyendo datos relacionados con el ambiente productivo. En animales en pastoreo, el uso de sensores remotos ofrece un nuevo método para la fenotipificación de caracteres con una mayor frecuencia, caracteres difíciles de medir, o que no se habían medido hasta el momento (Greenwood *et al.*, 2016).

Los avances en los procesos de miniaturización de los dispositivos electrónicos como mini controladores, sistemas de posicionamiento global (GPS) y tecnologías de radio digital, ofrecen el potencial para desarrollar dispositivos de detección pequeños y ligeros, los cuales se pueden incorporar en el animal a través de orejeras o collares y medir una gran variedad de caracteres de importancia para determinar el desempeño de bovinos en pastoreo (Greenwood *et al.*, 2014). La información de las características medidas, pueden ser almacenada en pequeñas tarjetas de memoria y ser enviados a un centro de recepción de información inalámbricamente en tiempo real o por periodos previamente determinados (Laca, 2009).

Sensores como los acelerómetros, magnetómetros, giroscopios y sensores de visión, audición y localización han servido para medir en tiempo real el comportamiento de animales en pastoreo (González *et al.*, 2015). También es posible el uso de plataformas fijas equipadas con diversos sensores (cámaras térmicas, escáneres y básculas) dispuestas en los potreros por donde los animales pueden caminar, para medir variables como condición corporal, espesor de grasa dorsal, estrés calórico y peso vivo (Halachmi *et al.*, 2013; Weber *et al.*, 2014; Vieira de Sousa *et al.*, 2016; González *et al.*, 2014). Estudios fisiológicos

también se pueden realizar con sensores sobre o dentro del animal y medir variables como temperaturas, funciones ruminales, ritmo cardiaco y respiratorio, metabolitos, entre otros (Greenwood *et al.*, 2016).

Por lo anterior descrito, la fenómica se convierte en una metodología que permite la evaluación de factores que contribuyen a la eficiencia productiva de animales en pastoreo. Con el uso de este tipo de métodos, las mediciones de caracteres de importancia económica se pueden realizar en un alto número de animales en su ambiente natural y durante largos periodos de tiempo, sin afectar su comportamiento normal y por lo tanto permitiendo expresar todo su potencial genético. Otras características que pueden ser estudiadas con el uso de estas herramientas son el consumo de alimento, eficiencia alimenticia, comportamiento, susceptibilidad a enfermedades, salud, reproducción y bienestar animal (Greenwood *et al.*, 2014; Neethirajan, 2017), al igual que el monitoreo de las interacciones genotipo - ambiente (Greenwood *et al.*, 2016).

En condiciones de sabana inundable, la aplicación de la fenómica contribuiría a incrementar la precisión cómo se maneja la actividad ganadera, a través de un mayor entendimiento de la biología animal y vegetal, lo que permitiría la realización de intervenciones tempranas que resulten en beneficios productivos, en el bienestar animal y cuidado ambiental. Con la información obtenida con estas herramientas tecnológicas, se podrían identificar los factores nutricionales y de manejo que puedan estar limitando la productividad animal. Esta información sería útil para tomar decisiones de manejo a tiempo, como la realización de rotación de potreros, reducir la carga animal o iniciar un programa de suplementación nutricional. También sería posible evaluar la respuesta productiva en eventos extremos de sequía e inundación, identificar patrones en el comportamiento del pastoreo en los animales para el establecimiento de estrategias diseñadas a mejorar la distribución del pastoreo, evaluar la influencia de factores ambientales o nutricionales (suplementación, estrés calórico, etc.) sobre el desempeño productivo (González *et al.*, 2014). Un aspecto muy importante, es que se generaría la información fenotípica necesaria para la realización de estudios de mejora genética por medio de los métodos de la genética cuantitativa y otras tecnologías “ómicas”, cuya implementación se ha visto limitada por la falta de registros (Greenwood *et al.*, 2016).

Con el desarrollo de la tecnología electrónica, es posible que en un futuro se diseñen dispositivos con funciones más avanzadas, que, en conjunto con los dispositivos disponible actualmente, se puedan obtener a un bajo costo, permitiendo establecer sistemas de información a nivel de finca en donde sea posible conocer la ubicación de los animales y que tipo de

actividad estén realizando en cualquier momento (Laca, 2009).

Es de reconocer, que la fenomica tiene el potencial de generar grandes bases de datos, cuyo manejo se convierte en un reto (Greenwood *et al.*, 2016). Un área con gran potencial para el análisis de grandes bases de datos es el “big data”. Esta temática está siendo muy utilizada actualmente, y consiste en una serie de metodologías con nuevas formas de integración de la información que permiten revelar ideas, tendencias, en bases de datos masivas, complejas y diversas (Lokers *et al.*, 2016). El “big data” está siendo usado para predecir el comportamiento de procesos operacionales, la toma de decisiones en tiempo real y para rediseñar procesos en modelos de negocio dinámicos (Wolfert *et al.*, 2017).

El “big data” ofrece diferentes aplicaciones en el campo de la agricultura permitiendo la evaluación de bases de datos heterogéneas con la intención de establecer o mejorar la capacidad de modelos predictivos (estimación del rendimiento productivo, consumo de alimento, etc.), tomar decisiones inmediatas y aumentar la eficiencia de la alimentación en la producción ganadera. Muchos científicos sugieren que el crecimiento de esta tecnología traerá beneficios en términos productivos, de eficiencia de utilización de los recursos y en mejorar la capacidad adaptativa de los sistemas ante los nuevos escenarios del cambio climático (Wolfert *et al.*, 2017).

La fenomica y el “big data” se convierten en alternativas de investigación muy útiles para su implementación en los sistemas ganaderos presentes en las sabanas inundables, ya que permite conocer o entender en mayor proporción las interacciones complejas que suceden en este ecosistema tan particular. Estas herramientas permiten la realización de estudios desde una perspectiva holística, donde se considera el componente animal, vegetal y climático, aumentando la posibilidad de establecer estrategias de manejo que den respuesta a las ineficiencias productivas comúnmente encontradas bajo estas condiciones, ofreciendo la oportunidad de mejorar la productividad, rentabilidad y bienestar animal, reduciendo el impacto ambiental asociado con esta actividad (González *et al.*, 2014).

### CONCLUSIONES

La actividad ganadera en sabanas inundables requiere cambios en los sistemas de manejo que permitan incrementar su productividad y resiliencia ante los nuevos escenarios del cambio climático, sin afectar la biodiversidad presente en la zona. Algunas estrategias productivas, como lo es el manejo del pastoreo, agua, suplementación y la integración de árboles y arbustos, se convierten en alternativas básicas que son factibles

de llevar a cabo en condiciones de sabanas inundables, brindando la posibilidad de intensificar la actividad ganadera y reducir su impacto ambiental. En la región, es indispensable promover en los productores la adopción de las prácticas anteriormente mencionadas a través de procesos de capacitación, sensibilización y demostración de los beneficios sociales, ambientales y económicos. El desarrollo de áreas de investigación como la fenomica y el “big data”, permitirían la realización de estudios desde una perspectiva holística, considerando el componente hidrológico, animal, vegetal y climático brindando un nuevo nivel de información que contribuiría a incrementar la precisión cómo se maneja la actividad ganadera en condiciones de sabanas inundables.

### REFERENCIAS

- Bertocchi, L., Vitali, A., Lacetera, N., Nardone, A., Varisco, G., Bernabucci, U. 2014. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature–humidity index relationship. *Animal*. 8: (4):667-674. Doi: 10.1017/S1751731114000032
- Broom, D. M., Galindo F.A., Murgueitio, E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B*. 280:20132025. Doi: 10.1098/rspb.2013.2025
- Carvalho, P.C.F., Kozloski, G.V., Ribeiro Filho, H.M.N., Reffatti, M.V., Genro, T.C.M., Euclides, V.B.P. 2007. Avancos metodológicos na determinação do consumo por ruminantes em pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36:151-170. <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36s0/16.pdf>
- Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Moraes, A., Souza, E.D., Sulc, R.M., Lang, C.R., Flores, J.P.C., Lopes, M.L.T., Silva, J.L.S., Conte, O., Wesp, C.L., Levien, R., Fontaneli, R.S., Bayer, C. 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 88:259-273. DOI 10.1007/s10705-010-9360-x
- De Moraes, A., Carvalho, P.C.d.F., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., Costa, S.E.V.G.A., Kunrath, T.R. 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*. 57:4-9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>
- Do Carmo, M., Claramunt, M., Carriquiry, M., Soca, P. 2016. Animal energetics in extensive grazing systems: Rationality and results of research models to improve energy efficiency of beef cow-calf grazing Campos systems.

- Journal of Animal Science. 94(S6):84-92. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0596>
- Eaton, D.P., Santos, S.A., Santos, M.A., Lima, J.V.B., Keuroghlian, A. 2011. Rotational Grazing of Native Pasturelands in the Pantanal: an effective conservation tool. *Tropical Conservation Science*. 4(1):39-52. <https://doi.org/10.1177/194008291100400105>
- FAO. 2017a. Low emissions development of the beef cattle sector in Uruguay – reducing enteric methane for food security and livelihoods. Rome, 34 pp. ISBN 978-92-5-109610-9
- FAO. 2017b. Supporting low emissions development in the Ethiopian dairy cattle sector – reducing enteric methane for food security and livelihoods. Rome, 34 pp.
- Fedegan. 2013. Análisis del inventario Ganadero colombiano. Comportamiento y variables explicativas, pp 1-21.
- Galindo, A., Rubio, R., Murgueitio, E., Calle, Z., Bothia, J.L., Rubio, P., Cardozo, A., Caroprese, J. 2012. Una innovación tecnológica para la siembra de árboles en las sabanas inundables de la Orinoquia: Montículos o Silvotermiteros. *Carta Fedegán* N.º 128. pp 66-70.
- González, L.A., Bishop-Hurley, G.J., Handcock, R.N., Crossman, C. 2015. Behavioral classification of data from collars containing motion sensors in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*. 110:91-102. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.10.018>
- González, L.A., Bishop-Hurley, G.J., Henry, D., Charmley, E. 2014. Wireless sensor networks to study, monitor and manage cattle in grazing systems. *Animal Production Science*. 54:1687-1693. <https://doi.org/10.1071/AN14368>
- Greenwood, P.L., Bishop-Hurley, G.J., González, L.A. 2016. Development and application of a livestock phenomics platform to enhance productivity and efficiency at pasture. *Animal Production Science*. 56(8):1299-1311. <http://dx.doi.org/10.1071/AN15400>
- Greenwood, P.L., Valencia, P., Overs, L., Paull, D.R., Purvis, I.W. 2014. New ways of measuring intake, efficiency and behaviour of grazing livestock. *Animal Production Science*. 54:1796-1804. <https://doi.org/10.1071/AN14409>
- Halachmi, I., Klopčič, M., Polak, P., Roberts, D.J., Bewley, J.M. 2013. Automatic assessment of dairy cattle body condition score using thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*. 99:35-40. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.012>
- Hersom, M. 2017. Basic Nutrient Requirements of Beef Cows. University of Florida. IFAS extensión, pp 1-10. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/AN/AN19000.pdf>
- Huertas, H. 2014. Capítulo 1: Relación de complementariedad sabana inundable y ganadería. En: *Sabana inundable y ganadería, opción productiva de Conservación en la Orinoquia*. Proyecto: “Fortalecimiento institucional y de política para incrementar la conservación de la biodiversidad en predios privados en Colombia”. Grupo Colombiano Interinstitucional de Herramientas de Conservación Privada (G5): Asociación Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RESNATUR), Fundación Natura (FN), World Wildlife Fund (WWF), The Nature Conservancy (TNC), y Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN). Serie “Conservación de la biodiversidad en predios productivos”. No.3, 230 pp.
- Jiménez, J.C., Cardoso, J.A., Leiva, L.F., Gil, J., Forero, M.G., Worthington, M.L., Miles, J.M., Rao, I.M. 2017. Non-destructive Phenotyping to Identify *Brachiaria* Hybrids Tolerant to Waterlogging Stress under Field Conditions. *Frontiers in Plant Science*. 8(167). Doi: 10.3389/fpls.2017.00167
- Jongman, R.H.G., Smith, J.K., Chacón-Moreno, E.J., Loedeman, J.H. 2008. Assessing flooding patterns in llanos of the Apure region (Venezuela) using radar images. *Ecotrópicos*. 21(1):34-45.
- Joyce, C.B., Simpson, M., Casanova, M. 2016. Future wet grasslands: ecological implications of climate change. *Ecosystem Health and Sustainability*. 2(9):e01240. [10.1002/ehs2.1240](https://doi.org/10.1002/ehs2.1240)
- Laca, E.A. 2009. Precision livestock production: tools and concepts. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38:123-132. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300014>
- Lafaurie, J.F. 2011. Los ojos en la Orinoquia. *Ciencia y Tecnología Ganadera*. *Carta Fedegán* N.º 123. pp 38-43.



- Latawiec, A.E., Strassburg, B.B.N., Valentim, J.F., Ramos, F., Alves-Pinto, H.N. 2014. Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. *Animal*. 8:1255-1263. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001566>
- Lizarazo, E.I., Alvarez, J.D., Bonna, R.P., Corso, O.M.V. 2001. Tapa tecnificada estructura reguladora de aguas para las sabanas inundables de Arauca. *Corpoica Regional Ocho, INAT Regional Catorce, Programa Regional de Investigación pecuaria*, pp 1-17.
- Lokers, R., Knapen, R., Janssen, S., Randen, Y.V., Jansen, J. 2016. Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. *Environmental Modelling & Software*. 84:494-504. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.017>
- Martínez, G. 2014. Capítulo 4: Consideraciones genéticas sobre la producción y el uso sostenible de las razas bovinas criollas colombianas en sistemas de producción del trópico bajo colombiano. Proyecto: "Fortalecimiento institucional y de política para incrementar la conservación de la biodiversidad en predios privados en Colombia". Grupo Colombiano Interinstitucional de Herramientas de Conservación Privada (G5): Asociación Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RESNATUR), Fundación Natura (FN), World Wildlife Fund (WWF), The Nature Conservancy (TNC), y Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN). Serie "Conservación de la biodiversidad en predios productivos". No.3, 230 pp.
- Montaño, C.R. y García-Conde, M.R. 2016. Características Ecosistémicas asociadas a la actividad ganadera en Arauca (Colombia): Desafíos frente al cambio climático. *Orinoquia*. Vol. 20 - No 1.
- Neethirajan, S. 2017. Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sensing and Bio-Sensing Research*. 12:15-29. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>
- Ocampo, A. y Peñuela, L. 2014. Capítulo 3: Manejo y nutrición en sabana inundable como eje de la producción y reproducción de la ganadería de cría. Proyecto: "Fortalecimiento institucional y de política para incrementar la conservación de la biodiversidad en predios privados en Colombia". Grupo Colombiano Interinstitucional de Herramientas de Conservación Privada (G5): Asociación Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RESNATUR), Fundación Natura (FN), World Wildlife Fund (WWF), The Nature Conservancy (TNC), y Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN). Serie "Conservación de la biodiversidad en predios productivos". No.3, 230 pp.
- O'Reagain, P., Bushell, J., Holmes, B. 2011. Managing for rainfall variability: long term profitability of different grazing strategies in a northern Australian tropical savannah. *Animal Production Science*. 51:210-224. <https://doi.org/10.1071/AN10106>
- PEDCTI. 2013. Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación – Arauca 2022: Articulando redes científicas y de innovación para el desarrollo fronterizo, económico y social de la Orinoquía, pp 23-256.
- Peñuela, L., Duran, O.A., Fernández, A.P., Castro, F. 2012. Estrategias para el mejoramiento de la productividad ganadera y la conservación de la sabana inundable en la Orinoquia. Convenio de cooperación interinstitucional entre The Nature Conservancy (TNC) y la Fundación Horizonte Verde, con el apoyo de la Fundación Biodiversidad de España, la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia (Corporinoquia) y la Fundación Mario Santo Domingo, pp 118.
- Peñuela, L., Fernández, A.P., Castro, F., Ocampo, A. 2011. Uso y manejo de forrajes nativos en la sabana inundable de la Orinoquia. Convenio de cooperación interinstitucional entre The Nature Conservancy (TNC) y la Fundación Horizonte Verde (FHV) con el apoyo de la Fundación Biodiversidad de España, la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia (Corporinoquia), pp 66.
- Pérez, B.R.A., Vargas, C.O.M. 2001. Características de la sabana nativa y su potencial de producción bovina en la llanura inundable de Arauca. *Corpoica Regional Ocho, INAT. Regional Catorce, Programa Regional de Investigación Pecuaria*. Santa Bárbara de Arauca, Arauca, Colombia, pp 5-40.
- Poppi, D.P., Quigley, S.P., Carvalho da Silva, T.A.C., McLennan, S.R. 2018. Challenges of beef cattle production from tropical pastures. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47:e20160419. <https://doi.org/10.1590/rbz4720160419>

- Santos, S.A., Cardoso, E.L., Silva, R.A.M., Pellegrin, A.O. 2002. *Princípios Básicos para a Produção Sustentável de Bovinos de Corte no Pantanal*. Corumbá: Embrapa Pantanal, pp 25.
- Santos, S.A., Crispim, S.M.A., Araújo, S.M., Filho, J.A.C., Cardoso, E.L. 2004. *Princípios de Agroecologia no Manejo das Pastagens Nativas do Pantanal*. Corumbá: Embrapa Pantanal, pp 35.
- Sequera, D y López-Hernández, D. 1999. Alternativas de manejo en una ganadería extensiva ubicada en una sábana antigua inundable, alto Apure, Venezuela. *Ecotrópicos*, v.12, no.1.
- Sulc, R.M. and Franzluebbers, A.J. 2014. Exploring integrated crop–livestock systems in different ecoregions of the United States. *European Journal of Agronomy*. 57: 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.007>
- Sullivan, M., Cawdell-Smith, A., Mader, T., Gaughan, J. 2011. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 89:2911-2925. DOI: 10.2527/jas.2010-3152
- Strassburg, B.B.N., Latawiec, A.E., Barioni, L., Nobre, C., Portifio da Silva, V., Valentim, J., Vianna, M., Assad, E. 2014. When enough should be enough: improved use of current agricultural lands could meet demands and spare nature in Brazil. *Global Environmental Change*. 28:84-97. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001>
- Thornton, P.K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 365:2853-2867.
- Torres, G.R. 1994. El agroecosistema módulos de Apure como instrumento para enfrentar la sequía. *Revista de Agronomía (LUZ)*: Vol. 11, No. 2.
- Vélez, O. M., Campos, R., Sánchez, H. 2015. Propiedades antimetanogénicas in vitro de algunas plantas adaptadas a las condiciones de sabana inundable del departamento de Arauca, Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 18:335-345. <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2152/990>
- Vera, R.R. y Ramírez-Restrepo, C.A. 2017. Complementary use of neotropical savanna and grass-legume pastures for early weaning and effects on growth and metabolic status of weaners and inter-calving intervals of dams. *Tropical Grasslands*. 5(2):50–65
- Vieira de Sousa, R., Canata, T.F., Leme, P.R, Martello, L.S. 2016. Development and evaluation of a fuzzy logic classifier for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127:176–183. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.014>
- Weber, A., Salau, J., Henning – Haas, J., Junge, W., Bauer, U., Harms, J., Suhr, O., Schönrock, K., Rothfuß, H., Bielezki, S., Thaller, G. 2014. Estimation of backfat thickness using extracted traits from an automatic 3D optical system in lactating Holstein–Friesian cows. *Livestock Science*. 165:129-137. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.03.022>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.J. 2017. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153:69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Zoby, J. L. F and Holmes, W. 1983. The influence of size of animal and stocking rate on the herbage intake and grazing behaviour of cattle. *Journal of Agricultural Science*. 100:139-148. <https://doi.org/10.1017/S0021859600032536>