

Declinación de la producción de carne con aumento de la edad en pasturas tropicales

Raúl R. Vera^a; Fhanor Hoyos Garcés^b y Idupulapati M. Rao^c

^a Consultor, Viña del Mar, Chile, rvi.2005@gmail.com

^b Consultor, Villavicencio, Colombia, fhoyosgarces@gmail.com

^c Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Km 17 Cali-Palmira CP 763537, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia, i.rao@cgiar.org

Es común observar que el nivel de producción animal en nuevas pasturas tiende a declinar con el aumento de la edad de las mismas, y de hecho los primeros registros históricos se remontan a 1882 (Joulie, citado por Robbins *et al.*, 1987). Ese fenómeno ocurre aún en pasturas bien manejadas y adecuadamente fertilizadas, siendo la caída en producción animal más acentuada en los primeros dos años y luego lentamente tiende a estabilizarse. Desde luego, mal manejo del pastoreo inadecuada fertilización, e incidencia de malezas y plagas causan la degradación de las pasturas en tanto que la declinación a que se hacía referencias antes es un fenómeno natural. Esta declinación natural es el objeto inicial del presente comentario, que se concentra en pasturas de gramíneas tropicales, seguida por una breve discusión las consecuencias de la degradación inducidas por gestión deficiente de la utilización de pasturas. En Brasil se considera que 50% de las pasturas están degradadas, otro 30% en diversos estados de degradación y sólo 20% se encuentran en buenas condiciones (Días-Filho, 2014). Pasturas degradadas inducen reducción de la producción animal, pero también perjudican las condiciones del suelo que llevan a degradación ambiental (Macedo *et al.*, 2013).

En el presente documento se trata primero la declinación inicial, y a seguir, la degradación causada por mal manejo, en pasturas de gramíneas tropicales.

1. Producción de carne con aumento de la edad en pasturas

En pasturas de gramíneas tropicales sembradas hay pocos registros bien documentados y de largo plazo sobre el fenómeno de declinación inicial, pero la tendencia a disminuir la producción animal en los primeros años parece ser generalizable, aunque no necesariamente la magnitud y velocidad de dicha declinación. Una limitación de cualquier estudio, sea experimental o a nivel de finca, sobre la disminución de la producción animal en relación con la edad de la pastura es que puede haber cambios climáticos entre años sucesivos, lo cual puede enmascarar los efectos de la edad. Una excepción es el estudio de Robbins *et al.*,

(1987) en Queensland, Australia, que evitó gracias a un diseño inteligente, el confundimiento de edad con condiciones climáticas, en una pastura de *Panicum maximum var trichlogume* cv. Petrie bien manejada y fertilizada a lo largo de 5 años consecutivos, con resultados que se reproducen parcialmente en la Figura 1. En ésta y los demás ejemplos, es conveniente expresar la ganancia de peso en años sucesivos como fracción de la observada en el primer año, lo cual permite comparar diferentes resultados en sitios y pasturas diversas.

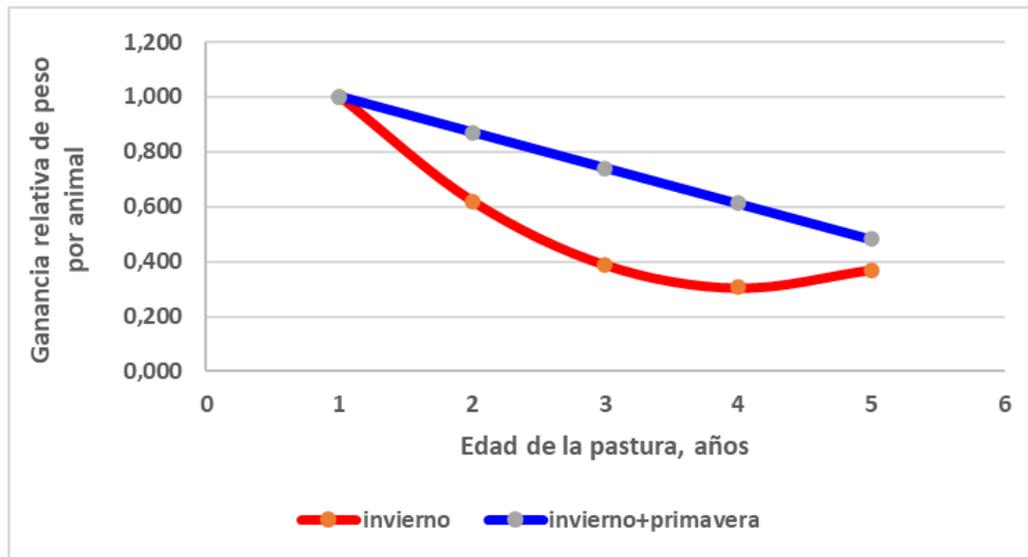


Figura 1. Ganancia relativa de peso por animal en años sucesivos en una pastura de *Panicum maximum var. trichloglume*, cv. Petrie en dos estaciones. Las ganancias de peso se expresan como fracción de la reportada en el primer año.

Como se puede observar en la Figura 1, las ganancias de peso individual disminuyen en años sucesivos, al punto que la pastura de 5 años rindió aproximadamente la mitad que al inicio. En términos absolutos, la ganancia individual de peso en invierno + primavera disminuyó de 73 a 35 kg por animal. La disminución según los autores no fue causada por cambios en el crecimiento medido de la pastura que de hecho se mantuvo relativamente constante. Sin embargo, con el aumento de la edad, decayeron los contenidos de nitrógeno (N), azufre (S) y potasio (K). Los autores hipotetizan que la cantidad de dichos nutrientes, y en particular los dos primeros, podría ser limitante, ya que casi la mitad del N y S se encuentran en la litera (por ej., hojarasca o material muerto localizado en la superficie del suelo y en estrecho contacto con él) en comparación con la cantidad encontrada en la biomasa aérea y en consecuencia infieren que la inmovilización temporal de nutrientes limitaría la calidad del forraje y el desempeño animal.

La disminución de la ganancia de peso anual con edad de la pastura se ha observado también en varias gramíneas tropicales en la Orinoquia de Colombia, aunque en todos los casos que siguen, la producción anual esta confundida con el efecto del año.

En un experimento controlado, con fertilización del mantenimiento regular y bien manejado que duró 10 años, Lascano y Estrada (1989, 1991) compararon ganancia de peso en *Brachiaria (Urochloa) decumbens* pura versus asociada con la leguminosa kudzu (*Pueraria phaseoloides*) establecidas en un suelo franco-arcilloso y con una carga de alrededor de 1,5 AU/ha durante el periodo lluvioso. Los datos observados, así como el ajuste de las curvas se muestran en la Figura 2.

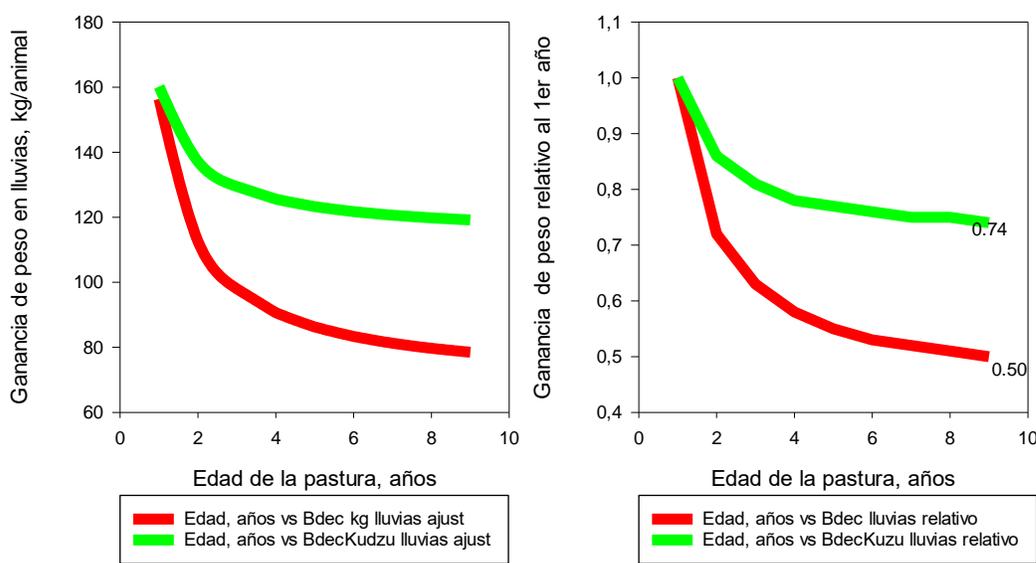


Figura 2. Panel izquierdo: Ganancias de peso (kg/animal) durante el período lluvioso en pasturas de *B. decumbens* cv. Basilisk pura versus una asociada con kudzu. Las curvas representan el ajuste estadístico de los datos observados. Panel derecho: Ganancias de peso expresada como fracción de la ganancia en el año; las cifras en el extremo derecho de cada curva son la ganancia de peso en el año 9 como fracción de la ganancia inicial. Datos recalculados a partir de los publicados por Lascano y Estrada (1991).

En el caso anterior (Figura 2) es notorio el efecto positivo de la leguminosa en disminuir en forma marcada la tasa de declinación de la producción animal. Los datos originales (no mostrados) mostraron también menor variación entre años en la pastura asociada. Es de notar que aún en estas pasturas manejadas en forma

muy controlada, la pastura pura declinó muy marcadamente en los tres primeros años, tendiendo luego a estabilizarse en aproximadamente la mitad de las ganancias originales. Por el contrario, con el aporte de la leguminosa la caída fue mucho menos marcada, con una caída en el año 10 equivalente al 26% del año 1.

Vera y Hoyos (2018) analizaron una base grande de datos recopilados durante 17 años sobre el desempeño de pasturas en la altillanura de la Orinoquia de Colombia en numerosas fincas. Dicha base de datos incluye entre otras, registros de producción de carne por varios años consecutivos en pasturas generalmente de menor calidad nutricional que la antes citada de Lascano y Estrada (1991).

La Figura 3 compara las ganancias de peso por animal en pasturas de *B. dictyoneura* cv. Llanero durante el periodo de lluvias con una carga aproximada de 0.8 AU/ha, en dos fincas muy próximas entre sí e igual patrón climático, pero suelos con diferente porcentaje de arena. La finca Pz tenía 70% de arena (textura franco arenosa), en tanto que la Gu tenía 37% de arena (textura franca). Como lo muestra la Figura 3 la disminución inicial con la edad fue más pronunciada en la finca Gu (posiblemente asociada con un mayor sellamiento superficial del suelo después de la labranza, por tener un mayor contenido de arcilla, como se menciona más adelante), pero aun así durante los 6 años de edad, la ganancia individual disminuyó al 37% con relación al año 1, versus 41% en el suelo más arenoso. Las diferencias en materia orgánica (2.33 vs 2.88) y contenido de fósforo (7.05 vs 7.43 ppm) del suelo para las fincas Pz y Gu respectivamente fueron pequeñas, pero la finca Gu en adición a menor contenido de arena tuvo mucho mayor contenido de limo y arcilla que la P (38.26 vs 13.71 y 24.61 vs 16.62%) respectivamente, lo que sugiere que pudo haber limitado el crecimiento de la pastura por deficiencia hídrica y reducción de la tasa de infiltración pero compensado por una mayor retención de humedad, por el mayor contenido de limo y arcilla.

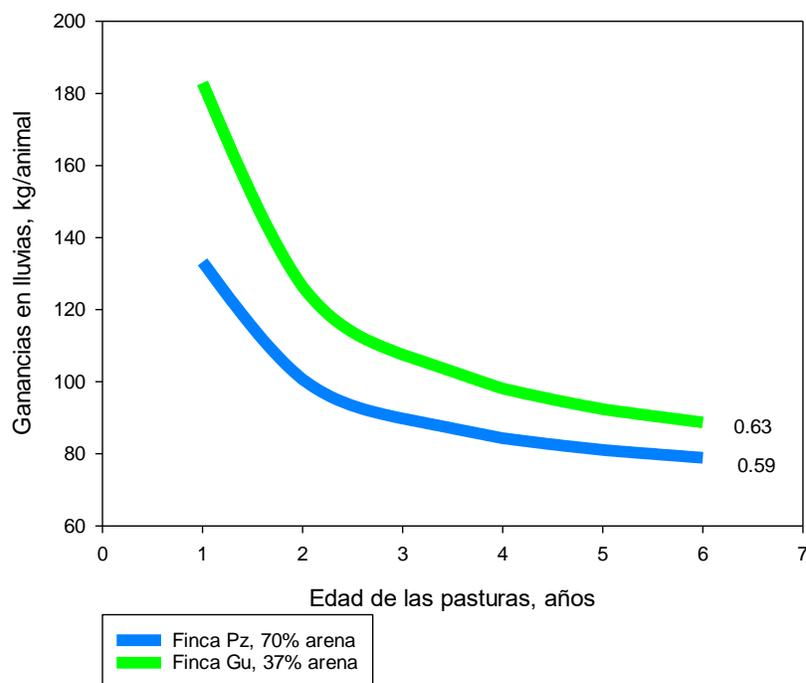


Figura 3. Ganancias de peso en pastura de *B. dictyoneura* cv. Llanero, con carga media de 0.8 AU/ha^{-1} , en relación con la edad de la pastura en dos fincas muy próximas entre sí, en un suelo franco-arenoso (finca Pz) y otro de textura franca (finca Gu). Las curvas de peso fueron ajustadas estadísticamente. Las cifras en el extremo derecho de cada curva son la ganancia de peso en el año 6 como fracción de la ganancia inicial.

La información disponible para los Llanos es limitada pero sorprendentemente consistente. En primer lugar, se infiere que existe una pérdida considerable de las ganancias individuales de peso, aún en pasturas que se consideraron bien manejadas, pero en ausencia de leguminosas asociadas y sin fertilización nitrogenada. Adicionalmente, la evidencia disponible sugiere también un efecto marcado de la textura del suelo bajo condiciones semejantes de distribución de la precipitación, ya que a medida que aumenta el porcentaje de arena las ganancias de peso anuales decaen. Por último, como lo sugiere el caso de la Figura 1, la presencia de una leguminosa persistente y productiva podría haber sido capaz de mantener producciones mayores y relativamente más estables a lo largo de los años debido a la eficiencia del ciclaje de N y P (Boddey *et al.*, 2004; Oberson *et al.*, 2006).

2. Posibles causas de la declinación

A pesar de la limitada información existente es posible hipotetizar sobre algunos mecanismos que pudieran estar involucrados.

2.1 Tipo de suelo, balance hídrico y labranza

El fenómeno de declinación y de degradación es inseparable del tipo de suelo, y en particular su fertilidad inicial, contenido de materia orgánica y características físicas. Parte importante de los suelos tropicales son ricos en aluminio y hierro, y pobres de nutrientes esenciales (Hoyos *et al.*, 1992), por lo cual la fertilidad dependería estrechamente del contenido de materia orgánica (Burbano, 1994). En esos suelos y con labranza inapropiada, sumado al efecto de la lluvia y pisoteo animal, la compactación ocurre rápidamente, hay pérdida de los agregados naturales del suelo (Hoyos *et al.*, 1992; Amézquita, 1998), y se reduce la capacidad de aceptar e infiltrar las lluvias (Amézquita y Londoño, 1997) lo cual conduce a escorrentía y erosión superficial. El tema de labranza adecuada para estos suelos escapa a este documento, pero ha sido motivo de extensas investigaciones descritas por Amézquita *et al.* (1997, 2004a) así como el papel de pastos de raíces profundas para mejorar las condiciones físicas de la capa arable (Amézquita *et al.*, 2004 a, b).

2.2 Nitrógeno

Usando una serie de experimentos en parcelas pequeñas, complementados con experimentos mayores de pastoreo que involucraron pastizales naturales y otros sembrados con *Eragrostis curvula* (“pasto llorón”) y otros, Davidson (1964) en Sud África sugirió que parte del problema podría estar asociado con la disponibilidad de N en el sistema animal-pastura. Estimó que 80% del N consumido es devuelto en las excretas, y que parte del mismo (25%) es recuperado por las gramíneas en el primer año, y otra cantidad equivalente en el segundo año, cantidades que estarían validadas por las ganancias de peso observadas. En estas condiciones, y asumiendo una fertilización con N adecuada a la siembra, hipotetizaron que sería suficiente reponer una cantidad menor de N de mantenimiento en años posteriores para mantener el sistema en equilibrio.

En las condiciones climáticas muy diferentes de la Mata Atlántica (trópico húmedo) Sur de Bahia, Brasil, Boddey *et al.*, (2004) realizaron un balance detallado del N en pasturas de *B. humidicola* sometidas a carga de 2, 3 y 4 animales por hectárea y fertilizadas con P y K, pero sin N. El consumo anual de N por los animales varió desde 94 hasta 158 kg N/ha/año en las cargas de 2 y 4 animales respectivamente, pero la cantidad de N exportada en las ganancias de peso fue pequeña, 7.3 y 8.6 kg N/ha/año, respectivamente. Con el aumento de carga el N contenido en la hojarasca disminuyó de 170 a 105 kg, el N urinario aumentó de 50 a 90 kg N/ha⁻¹ y el de fecas de 37 a 59 kg N/ha. Claramente, no se puede argumentar que la

exportación de N en las ganancias de peso sea una causa mayor de declinación de la pastura. Los autores concluyeron que la orina, particularmente si es depositada en lugares donde se concentran los animales, podría ser una causa muy importante de pérdida del N del sistema por lixiviación. Se infiere que dichas cantidades tendrían que ser repuestas anualmente para que el sistema se mantuviera en equilibrio, concepto similar al expresado por Davidson (1964). Es necesario recordar que la lluvia y la fijación no simbiótica aportan una fracción de esas cantidades (Guimaraes *et al.*, 2022).

Es importante anotar en todo lo anterior, el papel importante de la hojarasca o litera como depósito temporal del N. En el caso de Boddey *et al.*, (2004) dichas cantidades disminuyeron desde 170 kg N/ha⁻¹ en la carga de 2 animales a 105 kg N/ha⁻¹ con 4 animales/ha.

En las condiciones ambientales de los Llanos Orientales de Colombia, y usando una metodología muy diferente, Thomas y Asakawa (1993) estimaron tasas de descomposición de la hojarasca muy bajas comparadas con Boddey *et al.*, (2004), pero como se dijera antes, en condiciones ambientales diferentes y con metodologías también muy diferentes.

En base a lo anterior se deduce que la carga animal modifica drásticamente el ciclo del N y puede llevar a la pérdida de cantidades sustanciales del mismo, lo cual puede acelerar la declinación y eventualmente conducir a degradación.

Estudios realizados en Australia, en pasturas de *Cenchrus ciliaris* (buffel grass) han permitido estimar la distribución del N en los pastos y el suelo en pasturas bien manejadas (<https://futurebeef.com.au/resources/rundown-management-strategy-1/>) y los resultados se muestran en la Figura 4. Los valores son comparables a los estimados por Boddey *et al.*, 2004) en Brasil para *Brachiaria humidicola*, aunque lo más importante es señalar las magnitudes relativas del N en los diversos compartimentos del sistema suelo-planta-animal. Es importante notar que la mayor parte del N del sistema suelo-planta-animal está localizado en el N orgánico del suelo, no inmediatamente disponible para la planta hasta tanto sea mineralizado a nitratos. Dicho N orgánico está distribuido en diferentes fracciones disponibles a diferente velocidad dependiendo del suelo, un asunto aún no dilucidado totalmente. También es importante el rol de los microorganismos y la fijación no simbiótica de N, y de ahí que se haga énfasis en mantener una actividad biológica activa en los suelos (Guimaraes *et al.*, 2022).

En resumen, la Figura 4 sugiere que el sistema mantiene en circulación una gran cantidad de N, que sólo se pierde por lixiviación, pequeñas cantidades exportadas en los productos animales, y cantidades variables por emisión a la atmósfera de

compuestos nitrogenados volátiles, pero la mayor parte está eventualmente disponible para las plantas.

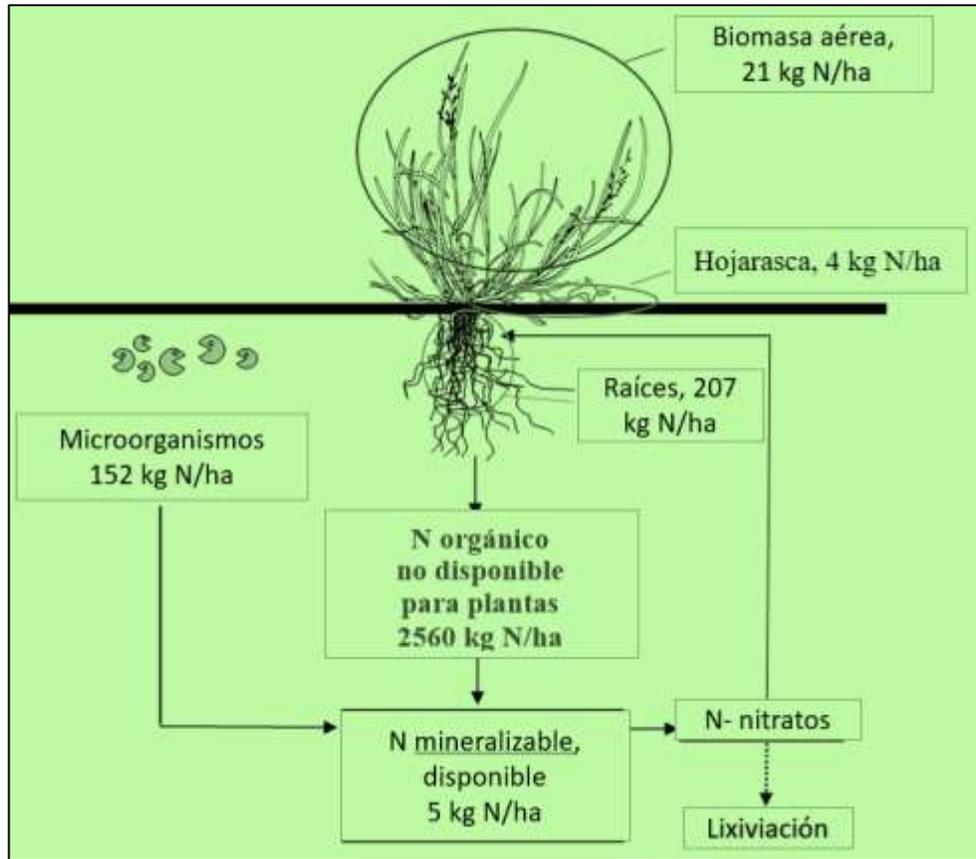


Figura 4. Distribución aproximada del N en una pastura tropical bien manejada. Adaptada de (<https://futurebeef.com.au/resources/rundown-management-strategy-1/>). Es posible que la cantidad de N en las raíces sea más baja en las condiciones de la Orinoquia Colombiana, pero es importante notar las magnitudes relativas en las diferentes fracciones.

3. Degradación y sus consecuencias

Los fenómenos de degradación de pasturas tropicales asociados al manejo deficiente han sido objeto de numerosos estudios, así como las alternativas para su recuperación (por ej., Ayarza, 2007, 2014; Macedo *et al.*, 2013) por lo cual sigue solamente una breve discusión del problema.



Foto 1. Una pradera degradada y una productiva con diferencias en desarrollo radicular y de biomasa aérea.

Las dos fotos presentadas (gentileza del Dr. Edgar Amézquita), muestran el marcado contraste entre una pradera degradada y una productiva (Foto 1). Obsérvese la diferencia en desarrollo radicular y de biomasa aérea. Es fundamental promover el balance entre raíces y parte aérea pues su crecimiento es mutuamente dependiente.

La degradación de pasturas contribuye a la reducción de la producción animal debido a varios procesos que se superponen parcialmente durante el tiempo. En primer lugar, hay una caída significativa de la producción de forraje o biomasa vegetal y eventual aparición de especies de baja palatabilidad. Ello es acompañado por la aparición de áreas de suelo desnudo que quedan desprotegidas del impacto de la lluvia, todo lo cual conduce a compactación del suelo y disminución de la actividad biológica en el suelo (Ayarza *et al.*, 2007).

El impacto económico de la degradación de pasturas es enorme. Se ha estimado que, en Brasil, el costo de la recuperación de 8 millones de hectáreas anuales de pasturas degradadas asciende a aproximadamente un millardo de US\$ (Jank *et al.*, 2014).

Los suelos bajo pasturas degradadas disminuyen muy marcadamente la capacidad de almacenar carbono (C), comparados con suelos bajo pasturas productivas (Fonte *et al.*, 2014; Ayarza *et al.*, 2022), y como se mencionó antes, también se reduce la capacidad de almacenar agua. La acumulación de C en el suelo es deseable pues podría contribuir a almacenar CO₂ de la atmósfera (gas de efecto invernadero), con los consiguientes beneficios ambientales.

Con el transcurso del tiempo se ha progresado en la comprensión detallada, mecánica, de la dinámica del N y el P (Boddey *et al.*, 2004; Fonte *et al.*, 2014) pero todavía se requiere más investigaciones sobre la declinación y degradación de las pasturas con la edad. Por ejemplo, se estima que la reducción de N y P en pasturas antiguas pueden aumentar la relación C:N (carbono-nitrógeno) y la relación carbono:fósforo (C:P), tanto en la biomasa aérea como en la subterránea, inmovilizando estos nutrientes y reduciendo la producción de forraje, su calidad y la consecuente producción animal.

Como se deduce de lo anterior, las causas principales de la degradación están asociadas con el sobrepastoreo, como ya se indicara antes, y a una reducción significativa del contenido total de N, P, y muy posiblemente otros nutrientes esenciales (Dias-Filho *et al.*, 2001; Fisher *et al.*, 2007; Nesper *et al.*, 2015). Ante un aumento creciente del costo de los fertilizantes, ésta es una consideración de mucho peso y debería estimular prácticas de manejo conducentes a un reciclaje eficiente de dichos nutrientes.

4. Conclusiones

Parece altamente probable que algún grado de disminución de la capacidad de producción animal en la mayor parte de las pasturas tropicales sea inevitable, pero lo que sí parece igualmente probable es que una caída modesta y persistencia de niveles de producción animal aceptables son objetivos alcanzables. La primera hipótesis, que no requiere de elaboración, es que la asociación con una leguminosa adaptada, productiva y de buena calidad es esencial en ausencia de fertilización periódica con N. En suelos de menor fertilidad, será necesario también satisfacer las necesidades de la pastura por otros nutrientes. Alternativamente, la rotación con cultivos anuales debidamente fertilizados y sujetos a prácticas de cultivo del suelo apropiadas al mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos constituyen una forma de reponer y mantener niveles de nutrientes en el suelo compatibles con producción animal sostenible, un asunto extensamente discutido por Ayarza *et al.*, (2022).

Todo lo anterior requiere además maximizar la eficiencia de circulación de los nutrientes y agua en el sistema suelo-pastura-animal, manteniendo una cobertura vegetal que asegure disponibilidad de forraje de calidad para el ganado, el mantenimiento de sistemas radiculares profundos y activos, y una población microbiana y macrofauna del suelo abundante y dinámica.

5. Referencias

- Amezquita E., Londoño H. 1997. La infiltración de agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo *In*: F. Silva ed. *Fertilidad de Suelos Diagnostico y Control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia. 137-154. *Suelos Ecuatoriales* 27: 163-169.
- Amézquita E., Hoyos P., Molina D. 2004a. Por qué y cómo construir una capa arable en suelos de la altillanura colombiana. Boletín técnico. CIAT-PRONATTA-CORPOICA-UNILLANOS. Cali, Marzo 2004. 32p.
- Amézquita E., Thomas R., Rao I. M., Molina, D., Hoyos P. 2004b. Use of deep-rooted tropical pastures to build-up an arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 269-277.
- Ayarza M., Amézquita E., Rao I., Barrios E., Rondón M., Rubiano Y., Quintero, M. 2007. Advances in improving agricultural profitability and overcoming land degradation in savanna and hillside agroecosystems of tropical America. *In*: A. Bationo, B. Waswa, J. Kihara and J. Kimet (eds.), *Advances in Integrated Soil Fertility Management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*, pp. 209-229. Springer, Netherlands.
- Ayarza M.A., Rao I., Vilela L., Lascano C., Vera-Infanzón R. 2022. Soil carbon accumulation in crop-livestock systems in acid soil savannas of South America: A review. *Advances in Agronomy* 173: 163-226.
- Boddey R.M., Macedo R., Tarre R.M., Ferreira E., de Oliveira O.C., Rezende C.D., Cantarutti R.B., Pereira J.M., Alves B.J.R., Urquiaga S. 2004. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:389–403.
- Burbano H.O. 1994. La materia orgánica del suelo en el contexto de una agricultura sostenible. *In*: F. Silva (ed.), *Fertilidad de Suelos Diagnostico y Control*, pp. 187-217. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia.
- Crawford J.W., Ritz K., Young I.M. 1993. Quantification of fungal morphology, gaseous transport and microbial dynamics in soil: an integrated framework utilising fractal geometry. *Geoderma* 56: 157-172.
- Davidson R.L. 1964. Theoretical aspects of nitrogen economy in grazing experiments. *Grass and Forage Science* 19: 273-280.
- Dias-Filho M.B., Davidson E.A., de Carvalho C.J.R. 2001. Linking biochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon Basin. *In*: M.E. McClain, R. L. Victoris and J.E. Richery (eds.), *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*, pp. 84-105. Oxford University Press, New York.
- Dias-Filho M.B. 2014. *Diagnóstico das Pastagens no Brasil*, 38p. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Brazil.

Fisher M.J., Braz S.P., Dos Santos R.S.M., Urquiaga S., Alves B.J.R., Bodddey R.M. 2007. Another dimension to grazing systems: soil carbon. *Tropical Grasslands* 41: 65–83.

Fonte S.J., Nesper M.G., Hegglin D.J., Velasquez J.E., Ramirez B., Rao I.M., Bernasconi S.M., Bünemann E., Frossard E., Oberson A. 2014. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 150–157.

Guimarães G.S., Rondina A.B.L., Santos M.S., Nogueira M.A., Hungria M. 2022. Pointing out opportunities to increase grassland pastures productivity via microbial inoculants: Attending the society's demands for meat production with sustainability. *Agronomy* 12: 1748. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081748>

Hoyos P., Vera R.R., Sanz J. I. 1992. Relaciones entre la textura y las características químicas en suelos oxisoles de la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. En: E.A. Pizarro (ed.), Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Documento de trabajo No 117, pp: 465-472. 1ª Reunión de sabanas, 23-26 de Noviembre de 1992. Brasilia, Brasil; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Hoyos P., Amézquita E., Thomas R., Vera R., Molina D; Almanza E. (1999). Relaciones entre la infiltración de agua en el suelo y algunas propiedades físicas en las sábanas de la altillanura colombiana. *Revista Suelos Ecuatoriales* 29: 55-60.

Hoyos P., Silva M. del R., Almanza E.F. 1999. Impacto de diferentes usos y manejos del suelo en los cambios químicos, físicos y biológicos de los suelos de la altillanura bien drenada. PRONATTA, Bogotá, Colombia.

Hoyos P., Amézquita E., Thomas R.J., Vera R.R., Molina D.L. 1999. Efecto del sistema y uso de la tierra en la distribución de los agregados en suelos de la altillanura colombiana. *Suelos Ecuatoriales* 29: 61-65.

Lascano C., Estrada J. 1989. Long-Term Productivity of Legume-Based and Pure Grass Pastures in the Eastern Plains of Colombia. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress*, pp. 1179-1180. Versailles, France.

Lascano C.E., Estrada J. 1991. Productividad a largo plazo basados en pasturas con y sin leguminosas en los Llanos Orientales de Colombia. *Boletín de Departamento de Zootecnia, U. de Caldas* 91: 13-17.

Macedo M.C.M., Zimmer A.H., Kichel N.A., Almeida R.G., de Araujo A.R. 2013. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: *Encontro de Adubação de Pastagens da Scot Consultoria-Tec-Fértil*, pp. 158–181. Scot Consultoria, Piracicaba, Brazil.

Nesper M., Bünemann E.K., Fonte S.J., Rao I.M., Velásquez J.E., Ramirez B., Hegglin D., Frossard E., Oberson A. 2015. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. *Geoderma* 257-258: 123-133.

Oberson A., Bunemann E.K., Friesen D.K., Rao I.M., Smithson P.C., Turner B.L., Frossard, E. 2006. Improving phosphorus fertility through biological interventions. *In*: N. Uphoff, A. S. Ball, E. Fernandes, H. Herren, O. Husson, M. Laing, C. Palm, J. Pretty, P. Sanchez, N. Sanginga and J. Thies (eds.), *Biological Approaches to Improving the Fertility and Sustainability of Soil Systems*, pp. 531-546. Marcel Dekker, New York, USA.

Robbins G. B., Bushell J.J., Butler K.L. 1987. Decline in plant and animal production from ageing pastures of green panic *Panicum maximum* var trichoglume. *Journal of Agricultural Science* 108: 407-417.

Thomas, R. and N Asakawa. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 1351-1361.

Vera R.R., Hoyos P. 2018. Long-term beef production from pastures established with and without annual crops compared with native savanna in the eastern plains of Colombia: A compilation and analysis of on-farm results 1979-2016. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 7: 1-13.