

Artículo Revisión

Pastoreo racional intensivo como alternativa para una ganadería baja en emisiones

Intensive rational grazing as alternative for low-emission animal husbandry

Milagros de la Caridad Milera-Rodríguez, Rey Leovigildo Machado-Martínez, Osmel Alonso Amaro, Marta Beatriz Hernández-Chávez, y Saray Sánchez-Cárdenas

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. Ministerio de Educación Superior, Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba

Correo electrónico: mmilera@ihatuey.cu

https://orcid.org/0000-0001-8531-3425

Resumen

Con el objetivo de reseñar los aspectos esenciales de la contribución del manejo de sistemas de pastoreo racional intensivo para desarrollar una ganadería baja en emisiones, se consideraron un conjunto de efectos relacionados con el cambio climático y su repercusión sobre la relación suelo-planta-animal, en los que se hace énfasis en los resultados obtenidos en Cuba. El mundo se enfrenta a los eventos climáticos extremos tales como: la sequía, las inundaciones, el incremento de la temperatura, entre otros. A su vez, la disminución en la productividad de la tierra, la degradación de los suelos y las pasturas, la disminución de la producción animal, hace a los países más vulnerables al cambio climático. La agricultura mundial representa el 14 % de las emisiones de gases de efecto invernadero; mientras que en Cuba es responsable del 18 % del total de emisiones. Los estudios realizados sobre el manejo racional intensivo han tenido una positiva repercusión en diferentes países del área. Existen resultados en el manejo racional de diferentes gramíneas mejoradas y su efecto en la estabilidad de la composición florística, la disponibilidad de materia seca, las plagas y enfermedades, el reciclaje de nutrientes, la biota del suelo y la fitomasa subterránea. A partir de la contribución del manejo ecológico de los sistemas de pastoreo intensivo para desarrollar una ganadería baja en emisiones se ofrecen resultados que representan una opción resiliente ante el cambio climático y una contribución a la autosuficiencia alimentaria de los países. En este sentido, el reto es la transición o reconversión de los sistemas convencionales a sistemas agroecológicos, resilientes, que permitan disminuir las emisiones de CO₂-eq e incrementar los sumideros.

Palabras clave: adaptación, cambio climático, especies

Abstract

In order to review essential aspects of the contribution of intensive rational management to low-emission animal husbandry, a set of effects related to climate change and its repercussion on the soil-plant-animal relation were considered, in which emphasis is made on the results obtained in Cuba. The world faces extreme climate events, such as: drought, flooding, temperature increase, among others. In turn, the decrease in land productivity, soil degradation and pastures, decrease of animal production, make countries more vulnerable to climate change. The world agriculture represents 14 % of greenhouse gas emissions; while Cuba is responsible for 18 % of the total emissions. The studies conducted on intensive rational grazing have had positive repercussion in different countries of the area. There are results on the rational management of different cultivated grasses and its effect on the stability of floristic composition, dry matter availability, pests and diseases, nutrient recycling, soil biota and underground phytomass. From the contribution of the ecological management of intensive grazing systems to develop low-emission animal husbandry, results are provided that represent a resilient choice in the face of climate change and a contribution to the food self-sufficiency of countries. In this sense, the challenge is the transition or reconversion of conventional systems to agroecological, resilient systems, which allow to decrease CO₂-eq emissions and increase sinks.

Keywords: adaptation, climatic change, species

Introducción

La FAO estima que la producción mundial de alimentos en el 2050 debe aumentar un 49 % en comparación con el 2012 para alimentar a una población creciente y con unos hábitos nutricionales cambiantes (FAO, 2017).

Los incrementos en la población humana y la pobreza, los cambios en las preferencias dietéticas por los productos derivados de los animales en el mundo en desarrollo y el aumento del uso de las tierras cultivables para biocombustibles tendrán

que ser manejados dentro del contexto del cambio climático.

Se estima que entre 2005 y 2015, el 26 % del total de daños y pérdidas provocados por los desastres climáticos en los países en desarrollo se produjo en la agricultura. Durante este periodo, la sequía ocasionó el 30 % de las pérdidas agrícolas causadas por desastres naturales, lo que equivale a 29 000 millones USD (FAO, 2017).

La ganadería en el mundo es responsable del 14,5 % de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI). Ascenden a 7,1 mil millones de toneladas de CO₂-eq por año. Las emisiones de GEI en el sector ganadero pueden reducirse entre un 14 y 41 %, mediante la adopción de mejoras en: la dieta, la calidad de los concentrados, la salud animal, la gestión del estiércol de los rebaños y el uso energético eficiente (FAO, 2017). En Cuba, la agricultura representa el 18 % del total de emisiones y de esta la fermentación entérica el 45 % de las emisiones de GEI (CITMA, 2015).

El empleo de sistemas intensivos de producción ganadera sobre bases agroecológicas se plantea como una posibilidad estratégica para mitigar las emisiones antropogénicas de GEI; entre los que se encuentran los sistemas de pastoreo racional intensivo, a partir de los postulados de Voisin (2012), basados en varios factores, tales como: no empleo de agrotóxicos, la estimulación de los ciclos naturales, la utilización del pasto en el momento óptimo de reposo y con reservas suficientes en la raíz para permitir un rebrote vigoroso. Además, se utiliza la planta cuando posee los nutrientes para alimentar al ganado y por tanto maximiza la cosecha de materia orgánica por unidad de área y se maneja con la capacidad de carga en ese espacio. Este manejo flexible contribuye a eliminar el sobrepastoreo y la desaparición de la cobertura de especies adaptadas, protege el suelo y fortalece el sistema radicular, por lo que contribuye a la adaptación y a la mitigación.

Por lo anteriormente expuesto, a escala mundial se impulsa el desarrollo sostenible como una opción viable para la supervivencia de la humanidad en armonía con la naturaleza, y en ese sentido el objetivo de este artículo fue reseñar los aspectos esenciales de la contribución del manejo de sistemas de pastoreo racional intensivo para desarrollar una ganadería baja en emisiones, donde se resaltan los resultados obtenidos en Cuba.

Algunos elementos esenciales del Pastoreo Racional Voisin (PRV)

Los estudios del científico francés André Voisin en clima templado y los argumentos tomados de los aportes científicos de años anteriores en Alemania y otros países, le permitieron enunciar los principios fundamentales para el manejo de los pastos en esas condiciones.

La forma en que fueron formulados esos principios de manejo, su fundamentación y su lógica, le dieron cierto carácter de universalidad, pero no escaparon a la realidad de haber sido formulados para un tipo de pastizal y para un entorno ecológico, tecnológico y cultural específicos; sin embargo, es posible su aplicación si se consideran los principios de la formulación.

En las cuatro leyes formuladas por Voisin (2012), el autor le concede igual importancia al pasto y al animal.

En las relacionadas con el pasto su aplicación depende de las características edafoclimáticas; no obstante, el manejador es el encargado de determinar el momento óptimo para el pastoreo y no podrán ofrecerse recomendaciones similares para las diferentes condiciones.

Voisin (2012) definió que *el pastoreo es el encuentro de la vaca con la hierba*, en equilibrio para que ninguno afecte la supervivencia del otro, porque la vaca selecciona del pasto los nutrientes para el mantenimiento, el crecimiento, la producción y la reproducción, pero a su vez la hierba necesita ser consumida, pisoteada, fertilizada, para comenzar un nuevo ciclo de crecimiento y la vaca estimula con la saliva, la bosta y la orina ese crecimiento.

Las áreas empastadas con un manejo adecuado poseen cuantiosas reservas de carbono. En este sentido, el equilibrio del carbono en la Tierra está en función de cuatro reservorios: los océanos, la atmósfera, el geológico y el sistema terrestre con 50 Pg como biomasa-vegetación y 1 550 Pg como carbono orgánico del suelo (COS). En el ecosistema terrestre, el mayor componente es el COS, seguido por el carbono inorgánico (750-950 Pg C). El COS conforma cerca de los dos tercios del C fijado en los ecosistemas terrestres; por lo tanto, el suelo representa un gran almacén de carbono en la naturaleza (Burbano-Orjuela, 2018).

Por otra parte, los métodos de manejo incluidos en las leyes encierran nuevos conceptos del equilibrio de la naturaleza, sin explotación ni deterioro y su aplicación debe ser contextualizada.

Las dos primeras leyes se relacionan con el pasto y las dos restantes con el animal. En las enunciadas para el manejo del pasto el principio más importante es el reposo entre un pastoreo y otro para alcanzar la máxima productividad, y el tiempo de ocupación por los animales de un cuartón.

- Primera ley: Para que una hierba cortada por el diente del animal pueda dar el máximo de productividad, es necesario que entre dos cortes sucesivos haya pasado el tiempo suficiente, que permita a la hierba almacenar en sus raíces las reservas necesarias para un rebrote vigoroso y realizar la llamarada de crecimiento.
- Segunda ley. El tiempo de ocupación de una parcela debe ser lo suficientemente corto para que una hierba cortada el primer día por el diente, no sea cortada de nuevo antes que los animales dejen la parcela.

En las relacionadas con el animal pone en primer plano los requerimientos y la calidad de la ración para cubrirlos, aspectos claves para garantizar la expresión del potencial del animal.

- Tercera ley. Es necesario ayudar a los animales de exigencias alimenticias más elevadas para que puedan cosechar la mayor cantidad de hierba y que esta sea de la mejor calidad.
- Cuarta ley. Para que una vaca pueda dar rendimientos regulares es preciso que no permanezca más de tres días en una parcela. Los rendimientos serán máximos si las vacas no permanecen más de un día en una parcela.

Otro aspecto al cual concedió gran importancia fue a la carga animal, al respecto en su libro "Productividad de la hierba" (Voisin, 2012), señaló: "El cultivador que se lanza al pastoreo racional plantea generalmente en primer lugar: ¿Cuántos animales podré cargar? Yo le respondo: no lo sé, no puedo saberlo. Nadie puede saberlo. Es preciso establecer un plan de tiempos, de este plan se podrán deducir los planes de superficies y la averiguación de las cargas posibles..." Si conduce el pastoreo racional convenientemente se verá llevado en años sucesivos, a aumentar considerablemente la carga global de ganado en sus pastos".

Esta idea, junto a otros principios como el reposo, el tiempo de estancia o el salto de los cuartones (flexibilidad), hablan por una parte de verdaderas leyes tecnológicas del pastoreo racional y, por otra, de la profunda vocación ecológica que promueve el equilibrio y la mesura en las relaciones con la naturaleza, por lo que su aplicación puede contribuir a sistemas bajos en carbono. La interpretación y la innovación en las condiciones de cada lugar es la clave del éxito.

En Cuba se tuvo conocimiento desde que se editaron los libros del científico francés a inicios de la década del 60, de los colorarios y leyes enunciadas por él y la tecnología fue asumida, en gran medida, como algo acabado, algo cuyo éxito dependía solamente de conocerla y aplicarla bien. Las expectativas que se tenían de ella eran muy elevadas y aunque se realizaron acciones para darle seguimiento al manejo de la tecnología que se estaba implantando, no se sistematizaron los estudios al respecto ni tampoco se profundizó en el análisis de su obra en los pocos centros de investigación que existían en ese momento.

En 1990 el país había perdido el comercio con el campo socialista y sufría un doble bloqueo, resultado del cual disminuyeron drásticamente los fertilizantes, el combustible, los suplementos alimentarios y los medicamentos, entre otros productos. En ese momento, se retomó el tema del pastoreo racional Voisin, el cual tuvo éxito en algunas lecherías, pero la falta de un mínimo de recursos y capacitación al productor como protagonista, no permitió que triunfara a gran escala; sin embargo, se condujo un programa de investigaciones con la participación de diferentes instituciones científicas donde primó el enfoque sistémico y se alcanzaron meritorios resultados en los estudios de la relación suelo-planta-animal.

Consideraciones del impacto de la ganadería en el cambio climático y posibles acciones para compensarlo

La ganadería mundial es responsable de dos terceras partes de las emisiones de GEI (FAO, 2017). El manejo del ganado es el garante principal, y de las acciones que se desarrollen dependen las emisiones. Entre las más importantes están: la dieta que se ofrece, mantener vacas improductivas y animales de reemplazo que después no son utilizados, no procesar adecuadamente el estiércol y utilizar cereales importados con una larga huella de carbono.

En este sentido, no se puede acusar al ganado vacuno como principal responsable de las emisiones, ya que las prácticas de manejo en la alimentación dirigidas a desviar la fermentación hacia la producción de propionato sin afectar la producción de los rumiantes, así como proporcionar el aumento del consumo y la velocidad de digestión o acortar la estancia de los alimentos en el rumen, disminuyen la producción de metano por unidad de forraje digerido (Sosa *et al.*, 2007). También se señala que cuando se utilizan sistemas intensivos de alimentación, se producen menores cantidades de metano al

compararlo con los sistemas extensivos (Clemens y Ahlgrimm, citados por Sosa *et al.*, 2007).

Por otra parte, si bien la agricultura industrial ha sido el modelo predominante en diferentes zonas geográficas, los pequeños productores producen la mayoría de los alimentos y promueven el desarrollo económico en África, América Latina y Asia. Quinientos millones de estos pequeños productores alimentan a más de dos mil millones de personas a nivel mundial (Altieri *et al.*, 2014).

Aunque los sistemas industriales han reportado ganancias en productividad en los últimos 50 años, también han tenido impactos negativos indiscutibles en el medio ambiente. Por ello, los desafíos futuros para los sistemas de producción dependen del rediseño de los sistemas agropecuarios industriales y el aumento de la producción en pequeñas fincas mediante un conjunto de prácticas alternativas a la agricultura industrial. La agroecología ofrece un marco holístico para enfrentar estas cuestiones y sus interconexiones a diferentes escalas (Dumont *et al.*, 2014).

América Latina tuvo una reducción de las emisiones en el 2000 con relación a 1990; sin embargo, actualmente posee el 9,9 % de las emisiones de CO_2 eq per cápita con respecto al mundo, en el cambio y uso de la tierra (Loaiza-Ceró *et al.*, 2015).

La reconversión y/o la transición agroecológica es un proceso de transformación de los sistemas convencionales de producción, hacia sistemas de base agroecológica, que comprende no solo elementos técnicos, productivos y ecológicos, sino también aspectos socioculturales y económicos del agricultor, su familia y su comunidad (Vázquez y Martínez, 2015). En Cuba durante 30 años se practicó la agricultura convencional; sin embargo, durante los últimos 20 años, ha ocurrido un proceso de transición agroecológica (Vázquez, 2018), en el que participan más de cien mil familias campesinas con resultados en el movimiento agroecológico (Machín, 2016).

La intensificación sostenible de la ganadería ante el cambio climático es un reto. Ello representa un concepto diferente a la intensificación que se ha practicado con los sistemas convencionales que persiguen “incrementar” la producción de alimentos y “enfrentar” los eventos extremos del cambio climático a costa de la sostenibilidad de los ecosistemas y de los recursos naturales, para resolver los problemas que, precisamente, han sido generados por el mismo enfoque tecnológico con dependencia

externa en productos básicos y contaminación, entre otros. La agricultura en transición hacia la sostenibilidad, persigue la producción de alimentos, a partir de la autosuficiencia, la diversidad, frecuencia, inocuidad y cantidad (Vázquez, 2018).

La disminución de la vulnerabilidad y el aumento de la resiliencia (adaptación), precisa de una construcción social, ya que en la finca, según el suelo y el clima del lugar, es donde se seleccionan las especies de plantas y los animales. En esta construcción intervienen procesos de innovación investigador-productor, los que con un adecuado manejo pueden contribuir a reducir las emisiones de GEI y aumentar la remoción de CO_2 .

Contribución de los sistemas de pastoreo racional intensivo a una ganadería baja en carbono

En los estudios realizados en Cuba con un manejo racional intensivo, donde predominó el manejo agroecológico del suelo y la flexibilidad de la rotación de los animales, se hallaron resultados alentadores en los estudios realizados en el suelo y en las especies que poblaban el sistema.

Milera *et al.* (2016), cuando utilizaron las gramíneas *Andropogon gayanus* Kunth cv. 621; *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs cv. Likoni, *Cenchrus ciliaris* L. cv. Biloela, *Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen cv. Aguada [= *Brachiaria purpurascens* (Raddi) Henrard] y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst cv. Tocumen, en un sistema con manejo racional intensivo, sin aplicación de fertilizantes con presencia de leguminosas herbáceas, observaron resultados favorables en la composición química y biológica del suelo, el reciclaje relacionado con la descarga de excretas en el potrero, así como la fitomasa subterránea, la composición florística, la persistencia, la disponibilidad y la composición bromatológica de las especies, la fenología, las plagas y las enfermedades.

En este estudio se priorizaron los aspectos más importantes en el manejo del pastizal: el sistema de pastoreo, el tiempo de reposo necesario (expresado como el momento óptimo para la entrada de los animales al cuartón o parcela), la intensificación o carga instantánea alta que permitiera una alta descarga de excretas, y la carga global. Para ello se dispuso de un número amplio de cuartones, en un área bien empastada y con suficiente biomasa disponible.

El nuevo diseño del pastoreo tuvo en cuenta el momento óptimo para ser pastado y a partir de este se determinó el tiempo de reposo y la cantidad de potreros; esta lógica no se había practicado antes en experimentos de manejo.

Para introducir el ganado en el sistema con gramíneas, se consideraron un conjunto de factores los cuales se evaluaron a través de un método de ranqueo-observación visual para determinar el momento óptimo de pastoreo. Por su importancia se resumen los pasos más importantes.

Las mediciones se efectuaron a partir de cinco puntos o momentos del crecimiento de la hierba, en función de la apreciación visual. El análisis de las mediciones y las notas de los recorridos permitieron seleccionar el mejor momento:

- *Punto 1. Salida de los animales.* En este punto la hierba tiene muy poca altura, pero es muy importante el rechazo (ni mucha ni poca hierba), es decir el suelo no se puede quedar descubierto.
- *Punto 2. Crecimiento lento y cambio de coloración:* desaparece el efecto de la selección por el animal sobre la hoja consumida y comienza el crecimiento y altura de la planta.
- *Punto 3. Crecimiento lineal:* aumento de la biomasa foliar, color más intenso, hojas ensanchadas, mayor altura.
- *Punto 4. Incremento de la biomasa foliar:* área más densa con mayor rendimiento; en pastos erectos el ápice de las hojas toma inclinación hacia abajo por el peso, hay poca inflorescencia.
- *Punto 5. Madurez:* Base con hojas marchitas, madurez, cambio de coloración y más del 10 % de floración.

En este sentido, el número de tallos florales en *A. gayanus* comenzó a aparecer a partir de septiembre, pero en bajos porcentajes (septiembre-noviembre) en los puntos 3 y 4, y se incrementó en el punto cinco; no obstante, en diciembre se observaron tallos florales en los puntos 3, 4 y 5.

El número de vástagos vivos (Vv) y totales (Vt) y las variables respectivas calculadas en función de estos (densidad de vástagos vivos, relación vástagos vivos-diámetro, relación vástagos vivos-vástagos muertos, relación vástagos totales-diámetro y densidad de vástagos totales), fueron significativamente superiores cuando el pasto fue rotado un mayor número de veces. De esta forma, se confirmó que con las frecuencias más cortas y las altas cargas instantáneas utilizadas se originó un estímulo beneficioso en la producción de retoños. Ello indica que la defoliación producida por los animales no dañó en ningún momento las yemas y yemas-retoño potencialmente aptas para respaldar la secuencia de formación de retoños, los cuales se produjeron, incluso, en una mayor cantidad (Machado *et al.*, 2012).

Fariñas *et al.* (2017), a partir de recorridos y mediciones con un enfoque sistémico y teniendo en cuenta todos los factores que inciden en el manejo del sistema de pastoreo, obtuvieron resultados que coinciden con los que se analizan en este artículo, no solo en el enfoque sino en la flexibilidad y la racionalidad para organizar el manejo de la pastura.

En cuanto al mejor momento o punto óptimo para la cosecha de la hierba, se concluyó que el punto 4 resultó el mejor para introducir los animales en el cuartón. La estancia era de un día con cargas instantáneas altas, pero quedaba un residuo que permitía un rebrote vigoroso. Respecto a la utilización se tuvo en cuenta ofrecer una disponibilidad por animal que, según la época del año, estas podían mantenerse en el cuartón todo un día o una cantidad de horas solamente; no se afectaron ni los pastos ni las vacas, era la premisa utilizada desde el comienzo.

Según Marín *et al.* (2017), el momento para el inicio de la rotación estuvo determinado por la altura. Estos autores señalaron que el pastoreo rotacional se caracteriza por manejar con alta presión cuando se alcanza una alta disponibilidad de pasto a la entrada de los animales al potrero y esta masa desciende notablemente a la salida de los animales por la alta utilización. Entonces se alcanzará una altura óptima pre-pastoreo que maximiza la tasa de ingestión a corto plazo (TICP). Por ello recomiendan una altura pre y post pastoreo y concluyeron que la máxima TICP conduce al mayor consumo diario y al desempeño animal, y que a su vez mejora la intensidad de las emisiones de GEI por unidad de producto animal o por área.

Del método de momento óptimo, se pueden adoptar sus principios, pero no sus resultados cuantitativos relacionados con la edad, altura, carga, ya que todos parten de la experiencia del manejador y de la observación de la disponibilidad y la calidad de determinadas especies, las cuales están condicionadas por las características edafoclimáticas del lugar y del tipo de variedad, el hábito de crecimiento, la carga empleada, entre otros factores.

El manejo cuidadoso para lograr una oferta de calidad, además de mantener la persistencia de las especies, es lo que contribuye a la adaptación y sostenibilidad del sistema; no obstante, la adaptación no se puede extender, ni importar, se alcanza cuando se realiza en cada lugar el manejo adecuado en el largo plazo.

Como se pudo constatar, la determinación del momento o punto óptimo está en función de manejar de forma flexible cada potrero con el reposo

necesario teniendo en cuenta las diferentes especies en evaluación dentro del sistema.

Los pastos poseen características fisiológicas y morfológicas propias, que les posibilitan la adaptación específica para su crecimiento y calidad; sin embargo, cuando ocurren cambios en las condiciones climáticas (en la temperatura, la radiación, las precipitaciones y su distribución), los pastos experimentan modificaciones morfológicas en el rendimiento y en su calidad.

Milera *et al.* (2016) observaron que las especies que presentaron una mayor proporción con relación al número de cuartones establecidos fueron *A. gayanus*, *M. maximus* y *C. ciliaris*. En el primer año de evaluación, *M. maximus* presentó el mayor número de cuartones en pastoreo, con 3, 4 y 5 rotaciones, seguidos de *A. gayanus* con el mayor porcentaje en 3 rotaciones y similar resultado obtuvo *C. ciliaris*; sin embargo, *M. maximus* fue el que menos tiempo necesitó para la recuperación (38 días). En el segundo año *M. maximus* y *C. ciliaris* tuvieron el mayor porcentaje de cuartones con 4 rotaciones, pero *C. ciliaris* necesitó mayor tiempo de recuperación (56 días) y en el tercer año *A. gayanus* y *M. maximus* alcanzaron 6 y más de 6 rotaciones en determinados cuartones, pero *C. ciliaris*, además de necesitar más tiempo de recuperación, estuvo por debajo en el rendimiento y el área cubierta.

Los mayores tiempos de reposo coincidieron con el fin del período lluvioso y durante el período poco lluvioso, lo cual incidió beneficiosamente sobre las leguminosas herbáceas acompañantes. En estas plantas los períodos largos de reposo tuvieron un efecto beneficioso en la persistencia, la producción de semilla, su germinación, desarrollo y diseminación.

Se evita el sobrepastoreo al emplear el período de reposo necesario para la recuperación, lo que tiene una implicación directa en la adaptación debido a que aumenta la persistencia de las especies, su área cubierta, la estructura, la calidad, se evita la erosión del suelo, y la vulnerabilidad del ecosistema al cambio climático, con incidencia positiva en la biodiversidad y la resiliencia.

No se puede analizar el suelo como unidad independiente; en este caso el suelo con especies de pastos establecidas y animales que la consumen, forman un ecosistema con características bióticas y abióticas.

Al analizar el comportamiento general de los nutrientes en el área antes mencionada, se pudo observar una estabilidad en la fertilidad del sistema y la descarga de excretas fue mayor cuando se cum-

plieron las rotaciones planificadas en cada especie. Ello resulta de suma importancia si se tiene en cuenta la escasez y los altos costos de los fertilizantes minerales, así como las consecuencias negativas que el empleo de estos últimos puede ocasionar al entorno ecológico.

El retorno de los elementos minerales a través de las excreciones de los animales es de vital importancia en los sistemas sostenibles. La fertilidad del suelo no se vio afectada por el sistema de pastoreo, ni por la ausencia de fertilizantes minerales y al finalizar el período experimental se notó una tendencia al incremento de los contenidos de fósforo y potasio en las áreas establecidas con el cv. Likoni y *A. gayanus*, respectivamente (Milera *et al.*, 2016).

En evaluaciones realizadas en una vaquería comercial, Guevara (2005) no observó variaciones significativas en el pH ni en los contenidos de K. Sin embargo, el P presentó un decrecimiento en los cuartones con *C. nlemfuensis* y un incremento en los de *M. maximus*; mientras que la materia orgánica aumentó; sin embargo, otro aspecto importante a considerar en los sistemas con alta intensidad de pastoreo, además del retorno de nutrientes, es el N que retorna a través de la hojarasca, ya que esta última será la garantía de la formación de humus.

Las especies mostraron una estructura vertical característica de los pastos tropicales [hoja (h)-tallo (t)-material muerto (mm)]. En el promedio anual, todas presentaron un mayor porcentaje a favor de las hojas en los estratos de más de 30 cm de altura, asequibles por los animales (h-72, t-2, mm-26 %). En el estrato 20-30 cm de altura, aunque también el porcentaje de hojas fue alto, se favoreció al material muerto (h-38, t-10, mm-52 %) y presentó un mayor componente de tallos con respecto al estrato superior, y en el estrato 0-20 cm, se benefició el tallo y el material muerto (h-17, t-19, mm-64 %), pero fue inferior a los reportados en los sistemas convencionales por Hernández *et al.* (1992).

La relación hoja-tallo-material muerto en todas las especies estudiadas presentó la mejor estructura a favor de las hojas en el estrato de más de 30 cm y en el período lluvioso; no obstante, *A. gayanus* y *M. maximus* fueron superiores a *C. ciliaris*, *C. nlemfuensis* y *U. mutica*.

En el promedio anual en todos los estratos hubo presencia de material muerto y en el suelo cobertura de material senescente. El manejo intensivo-flexible, para pastorear cada potrero en el momento óptimo y con una alta carga en un día de estancia, tuvo un efecto positivo en la estructura en las cinco especies, sin detrimento de la hojarasca.

La cobertura de la superficie del suelo por diferentes especies de plantas y la hojarasca, la no aplicación de fertilizantes químicos y la descarga de excreta debido a la alta carga instantánea, beneficiaron a los principales grupos que conforman la macrofauna, los que además de contribuir al enterramiento de la MO mejoran la estructura y la porosidad.

El manejo del suelo puede afectar su contenido de carbono y llevar, aunque en principio resulte paradójico, a que el suelo en lugar de sumidero de carbono pase a ser un emisor importante de GEI. Por eso, hay que utilizar prácticas apropiadas y un adecuado manejo que recuperen y mantengan la potencialidad de los suelos e influyan en la cantidad de carbono que estos puedan almacenar (Burbano-Orjuela, 2018).

El carbono orgánico del suelo (COS) para una profundidad de 0,30 m es de 677 Pg; 993 para 0,50 m, y 1 505 para 1 m; aproximadamente el 55 % de COS yace debajo de la profundidad de 0,30 m. Los suelos de los agroecosistemas tienen sus reservas de COS agotadas y poseen una baja eficiencia en el uso de insumos para alcanzar el rendimiento agro-nómico (Rattan, 2018).

El manejo agroecológico empleado contribuyó a mejorar los indicadores biológicos; en el caso de la biota del suelo, los resultados fueron muy alentadores y sirvieron de base a otras investigaciones. La fauna del suelo es un bioindicador apropiado dado sus hábitos relativamente sedentarios y presencia a lo largo del año, su facilidad de medición y su alta sensibilidad y rápida respuesta al estrés ambiental (FAO, 2015).

Se colectaron un total de 540 individuos, pertenecientes a 2 *Phylum*, 5 clases y 8 órdenes. Al iniciar las investigaciones en el pastoreo de *A. gayanus*, los insectos representaron el 75,7 % de la fauna y el resto los oligoquetos y al finalizar la cantidad de insectos disminuyó a un 35,5 %, debido al aumento notable de los oligoquetos (32,1 %) y a la aparición de otros grupos, como por ejemplo diplópodos, isópodos y arácnidos (Sánchez *et al.*, 1997).

Las lombrices intervienen de forma directa o indirecta en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo; estas y los macroinvertebrados también actúan mediante sus mandos funcionales en la regulación de funciones importantes del suelo.

Ellas seleccionan en la ingestión, gran cantidad de material orgánico y mineral y su actividad conduce a la producción de estructuras que intervienen, directamente, en las propiedades físicas del

suelo tales como: aumento de la porosidad y de la aireación, mejoran la conductividad hidráulica y hay una mejor estabilidad estructural que incluye la formación de macroagregados y microagregados (Jiménez-Jaén *et al.*, 2003).

Las lombrices también intervienen en la estructura física del suelo ya que producen grandes cantidades de agregados órgano-minerales. En un intervalo corto de tiempo, de unas horas, la digestión de la lombriz rompe los residuos orgánicos y libera algunos nutrientes, como el nitrógeno (N) y el fósforo (P), que pueden entonces ser asimilados por las plantas (Jiménez-Jaén *et al.*, 2003).

En general las praderas tienen más lombrices que los cultivos que dejan menos cantidad de residuo en el campo. El manejo del suelo, al no afectar la acumulación de COS, actúa en el número y peso de las lombrices del suelo. El C orgánico del suelo interviene en las propiedades biológicas, básicamente actuando como fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo.

En términos generales, las técnicas que utilizan un adecuado manejo del suelo, tales como: la mínima labranza, la rotación adecuada de cultivos en un mismo terreno, el mulch o arropo entre las franjas de cultivo, el uso óptimo del agua en los sistemas de regadío, la aplicación de abonos orgánicos y órgano-minerales, el manejo adecuado del reposo y el empleo de sistemas silvopastoriles, han producido mejoras en el estado nutricional de las plantas y en el cuidado del suelo, con efectos favorables en el ahorro de fertilizantes químicos y en el aumento del rendimiento de los cultivos (Crespo, 2018).

Hernández *et al.* (2011) al evaluar en cinco pastizales con manejo rotacional encontraron que las raíces finas o raicillas (< 0,2 mm de diámetro) presentaron diferencias significativas en todas las capas de suelo; mientras que en los detritos las diferencias estuvieron en las capas superficiales, 0-20 cm, y los rizomas solo se encontraron en la capa 0-5 cm. Se apreció que en la capa 10-20 cm todos los componentes difirieron estadísticamente.

A su vez, en este mismo estudio la fitomasa subterránea promedio de los cinco pastizales estudiados fue de 788 g m⁻², el 30,8 % pertenecían a las raíces, el 15,3 % a los rizomas y el 53,9 % a los detritos. Los componentes de la fitomasa subterránea se concentraron en las capas superiores de suelo. El 70 % de la fitomasa subterránea total estaba en la capa de suelo 0-10 cm y el 81 % del total se encontraba en la fitomasa total, en los primeros 5 cm, mientras que las raíces representaron el 81 %.

La fitomasa subterránea total en todos los perfiles de suelo estudiados fluctuó entre 355 y 1 162 g m⁻². Los valores más altos estuvieron en las especies de pastos erectos *M. maximus* y *C. ciliaris* que no difirieron significativamente entre sí, y el valor más bajo lo presentó *A. gayanus*, que difirió de las demás. Las rastreras *C. nlemfuensis* y *U. mutica* difirieron entre sí y de las demás especies erectas, lo que demuestra el comportamiento particular de cada una de las especies, que a su vez pertenecen a diferentes géneros de plantas. *M. maximus* presentó una alta proporción de raíces finas, que le permiten una mayor capacidad para tomar el agua y los nutrientes del suelo (Hernández *et al.*, 2011). Aunque esta no es una especie endémica de la flora de Cuba, es una de las más antiguas y mejor adaptada a las diferentes condiciones edafoclimáticas del país.

Por otra parte, Machado *et al.* (2011) clasificaron 75 especies de varias familias de plantas en un pastoreo rotacional Voisin que presentaron en general una estabilidad, ya que algunas no eran perennes y otras no soportaron la intensidad del pastoreo en el período experimental. La notable diversidad de especies que caracterizó a la biomasa vegetal aportada por las gramíneas, las leguminosas herbáceas acompañantes que superaron el 20 % del total de la flora existente y otras especies que se encontraban en asociación con las gramíneas, pueden ser seleccionadas por los animales y mantenerse con una mayor estabilidad que cuando constituyen cultivos puros, o cuando no se manejan adecuadamente.

En este estudio, se clasificaron un total de 21 especies en la familia de las leguminosas, las cuales se incrementaron al final del período experimental. En este sentido, disminuyeron su población las especies *Calopogonium mucunoides* y *Alysicarpus vaginalis*, pero aumentaron su frecuencia de distribución en los cuartos. Sin embargo, *Centrosema*, *Neonotonia*, *Teramnus* e *Indigofera mucronata*, no solo incrementaron su población en los cuartos donde ya estaban establecidas, también la frecuencia de distribución (presencia en otros cuartos donde no estaban) en toda el área.

En general, las leguminosas herbáceas tuvieron una evolución incrementada en el cuartón y en la frecuencia de aparición y distribución en otros cuartos donde no se encontraban al iniciar los estudios. Entre las más destacadas se encontraban *Neonotonia wightii*, *Teramnus labialis* y *Centrosema pubescens*, ya que su producción de semilla ocurre durante el período poco lluvioso, y el manejo llevado a cabo facilitó la fructificación y maduración

de la semilla, así como su diseminación (Milera *et al.*, 2016). La biodiversidad de especies que se logró en el sistema, no solo se incrementó, sino que contribuyó a la disponibilidad de biomasa y a la calidad del alimento ingerido.

Según López-Vigoa *et al.* (2018) cuando además de la gramínea mejorada se incluyó *Leucaena leucocephala* y *N. wightii*, en el pastizal se observó un significativo aumento de la calidad y digestibilidad de la ración.

A su vez, en un estudio realizado en leguminosas forrajeras por Gurbuz (2009), se encontró una correlación negativa taninos condensado y producción de gas metano ($r^2 = -0,882$), producción de gas dióxido de carbono y producción total de gas ($r^2 = -0,883$ y $r^2 = -0,867$) respectivamente, que pudieran deberse a un efecto de la metanogénesis, la variación estructural y de actividad biológica de los taninos. Aunque las leguminosas herbáceas utilizadas por este autor no fueron las mismas que las empleadas por Milera *et al.* (2016), este es un aspecto importante que debe tenerse en consideración en los sistemas de pastoreo.

Las leguminosas favorecieron las habilidades selectivas de los animales en el pastoreo; no obstante, la intensificación sin fertilización precisa de una asociación de las gramíneas con leguminosas en un porcentaje significativo que incida no solo en el comportamiento productivo, sino en la captura de carbono y la disminución de las emisiones, y la mejor forma de lograrlo es con leguminosas herbáceas y arbóreas.

Al analizar la disponibilidad según los días de reposo del cuartón, a partir de los 20 y hasta los 60 días, esta alcanzó valores promedio de 3,4 t de MS/ha/rotación, y con relación al período, en el lluvioso fue superior (4,3 t de MS/ha/rotación) al poco lluvioso (3,1 t de MS/ha/rotación), con diferencias significativas para $p < 0,01$. Los contenidos de proteína estuvieron entre 9,11 y 9,7 % de la MS, en *M. maximus* y *A. gayanus*; *C. ciliaris* en el período poco lluvioso alcanzó 8,7 %. En gramíneas mejoradas manejadas en pastoreo convencional, si no se aplican fertilizantes, no se logran estos resultados, lo que demuestra que es posible mantener la asociación gramínea-leguminosa y el reciclaje cuando se utiliza un pastoreo intensivo, con un manejo adecuado.

Desde el punto de vista fitosanitario la contribución a la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático estuvo dada por la presencia y afectación infima de insectos y microorganismos

causantes de enfermedades fungosas, fundamentalmente. Ello fue resultado del manejo que se realizó a las gramíneas en monocultivo (*A. gayanus* cv. CIAT-621, *M. maximus* cv. Likoni, *C. nlemfuensis* cv. Tocumen, *C. ciliaris* cv. Formidable y *U. mutica* cv. Aguada) en el sistema de pastoreo racional intensivo al que fueron sometidas, resaltándose el tiempo de reposo de los pastos; la carga animal (global e instantánea), que implicó un mayor pisoteo en determinado momento; las horas de pastoreo-ramoneo por los animales; y el hecho de darle el mismo valor a las especies pratenses que a las vacas, considerando la importancia primordial de ese tipo de alimento en la dieta del ganado.

De ahí que con esas medidas se produjeron cambios en el sistema, que además ejercieron determinada influencia sobre los organismos plagas, por ejemplo: la existencia de una menor disponibilidad de masa foliar para consumir por la plaga en determinado momento; la pérdida de un pasto hospedero por excelencia a causa de no resistir el pastoreo intensivo; el corto tiempo de reposo de algunas especies pratenses, lo que hace que el animal pase por un mismo cuartón con mayor frecuencia que cuando se pastorea con el sistema tradicional; y por último, el hecho de no aplicar fertilizantes ni plaguicidas inorgánicos (Alonso *et al.*, 2011). También pueden haber favorecido la disminución de las emisiones al mantener el equilibrio biológico en el pastizal, y no existir explosiones masivas de plagas que lo deterioraran, dado por la diversidad vegetal imperante como por ejemplo los pastos más vigorosos y las arvenses, dentro de toda la agrobiodiversidad, según el criterio de Nicholls y Altieri (2017).

En la medida que se mantengan las áreas con biodiversidad de especies (gramíneas-leguminosas) y manejo racional del pastoreo, menor será la emisión de CH₄/kg de producto animal, menor erosión y compactación del suelo, mayor la persistencia de las especies y menor las afectaciones por plagas, lo que a su vez tiene implicaciones económicas porque mejoran las producciones y los ingresos, lo que contribuye a la seguridad alimentaria de la familia y de la localidad.

Conclusiones

La biodiversidad de especies en el pastoreo rotacional sin la aplicación de agrotóxicos no solo contribuye a paisajes más sanos, sino que tiene un efecto positivo en la calidad e inocuidad de la

ración, mejor aprovechamiento de la biomasa por los animales y contribuye a una menor cantidad de fitopatógeno.

El pastoreo racional intensivo del pastizal puede contribuir de manera significativa en la evolución de la biota edáfica, mejor utilización de la materia orgánica por las plantas, retención de la humedad, evita la compactación, incide en la captación y retención del carbono, lo cual favorece este tipo de manejo la relación suelo-planta-animal y la resiliencia al cambio climático.

Existen resultados en sistemas de producción diversificados que conservan los recursos naturales, utilizan plantas y animales adaptados y presentan eficiencia productiva. El reto es continuar trabajando en la transición o reconversión de los sistemas convencionales a sistemas agroecológicos, resilientes, que permitan incrementar la autosuficiencia alimentaria a partir de la diversidad, cantidad, frecuencia e inocuidad en las producciones.

Agradecimientos

A la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey que contribuyó para que estos estudios se realizaran.

Referencias bibliográficas

- Alonso, O.; Lezcano, J. C. & Milera, Milagros de la C. El contexto fitosanitario en sistemas de pastoreo racional con gramíneas y en silvopasturas. En: Milagros de la C. Milera, ed. *André Voisin: experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. Matanzas, Cuba: SOCUP, ACPA, EEPF Indio Hatuey. p. 443-466, 2011.
- Altieri, M. A.; Koohafkan, P. & Nicholls, Clara I. Strengthening resilience of modern farming systems: a key prerequisite for sustainable agricultural production in an era of climate change. *Third World Network Briefing paper*. No. 70, 2014.
- Burbano-Orjuela, H. Carbono orgánico del suelo frente al cambio climático. *Universidad de Nariño Rev. Cienc. Agr.* 35 (1):82-96, 2018.
- CITMA. *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. La Habana: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 2015.
- Crespo, G. J. Manejo integrado de nutrientes para la producción agrícola. *Memorias del VI Congreso de Producción Animal Tropical*. [CD-ROM]. San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2018.
- Dumont, B.; González-García, E.; Thomas, M.; Fortun-Lamothe, L.; Ducrot, C.; Dourmad, J. Y.

- et al. Forty research issues for the redesign of animal production systems in the 21st century. *Animal*. 8 (8):1382-1393, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731114001281>.
- FAO. *El trabajo de la FAO sobre el cambio climático. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>, 2017.
- FAO. *Suelo y biodiversidad*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/a-av127s.pdf>, 2015.
- Fariñas, S.; Tuñón, G.; Pla, M. & Martínez, Rocío. El sistema de la Estanzuela en tres pasos. En: *Sistema de pastoreo la Estanzuela. Guía práctica para la implementación de un sistema de pastoreo*. Uruguay: INIA. p. 3-12, 2017.
- Guevara, R. Contribución al estudio del pastoreo racional Voisin con bajos insumos en una vaquería comercial. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2005.
- Gurbuz, Y. Efectos del contenido de taninos condensados de algunas especies de leguminosas en la emisión de gas metano. *Rev. cubana Ciencia agríc.* 43 (3):265-272, 2009.
- Hernández, D.; Carballo, Mirta; García-Trujillo, R.; Mendoza, C. & Robles, F. Estudio del manejo de *Panicum maximum* cv. Likoni para la producción de leche. IV. Respuesta animal y comportamiento del pastizal. *Pastos y Forrajes*. 15 (3):249-259, 1992.
- Hernández, L.; Milera, Milagros de la C. & Blanco, F. Influencia del sistema de explotación y la especie sobre los componentes de la fitomasa subterránea. En: Milagros de la C. Milera, ed. *André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. p. 426-442, 2011.
- Jiménez-Jaén, J. J.; Decaëns, Th.; Thomas, R. J. & Lavelle, P. La macrofauna del suelo: Un recurso natural aprovechable pero poco conocido. En: J. J. Jiménez-Jaén and R. J. Thomas, ed. *El arado natural: Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de Colombia*. Cali, Colombia: CIAT. p. 1-17, 2003.
- Loaiza-Ceró, W.; Morán-Burgos, J. G. & Tapia-Lajud, Sindy. *Estrategia municipal de desarrollo bajo en carbono para Cali*. Cali, Colombia: CIAT, 2015.
- López-Vigoa, O.; Lamela-López, L.; Sánchez-Santana, Tania & García-López, R. Influencia del período del año en la producción y la calidad de los alimentos en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala*. *Memorias del VI Congreso de Producción Animal Tropical*. [CD-ROM]. San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal. p. 1285-1288, 2018.
- Machado, R. Milera, Milagros & Blanco, F. La morfología, la estructura y la vegetación en el pastizal. En: Milagros de la C. Milera, ed. *André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. Matanzas, Cuba: SOCUP, ACPA, EEPF Indio Hatuey. p. 398-425, 2011.
- Machín, B. P. Movimiento agroecológico de campesino a campesino. En: F. Funes y L. L. Vázquez, eds. *Avances de la agroecología en Cuba. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey*. p. 433-444, 2016.
- Marín, Alejandra; Baldissera, T.; Pinto, C.; Garagorry, F.; Zubieta, A.; Giraldo, L. A. et al. *Una innovación en el manejo del pastoreo como estrategia para mejorar la producción animal y reducir las emisiones de GEI*. Wageningen, The Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/89804/InfoNote_RotatinuosStocking_ES.pdf, 2017.
- Milera, Milagros de la C.; Machado, R.; Remy, V. A.; Martínez, J.; García-Trujillo, R.; & Hernández, Marta et al. Pastoreo racional de vacas lecheras en gramíneas mejoradas, con bajas o nulas aplicaciones de fertilizantes. En: Milagros de la C. Milera, ed. *Manejo de vacas en pastoreo. Del monocultivo a la biodiversidad de especies*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. p. 89-163, 2016.
- Nicholls, Clara I. & Altieri, M. A. Enfrentando el cambio climático: Estrategias agroecológicas para la agricultura campesina. En: Clara I. Nicholls y M. A. Altieri, eds. *Nuevos caminos para reforzar la resiliencia agroecológica al cambio climático*. Berkeley, EUA: SOCLA-REDAGRES. p. 4-11, 2017.
- Rattan, L. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Glob. Change Biol.* 24 (8):3285-3301, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>.
- Sánchez, Saray; Milera, Milagros; Suárez, J. & Alonso, O. Evolución de la biota del suelo en un sistema rotacional racional intensivo para la producción de leche. *Pastos y Forrajes*. 20 (2):143-148, 1997.
- Sosa, Areadne; Galindo, Juana & Bocourt, R. Metanogénesis ruminal: aspectos generales y manipulación para su control. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 41 (2):105-114, 2007.
- Vázquez, L. L. Sostenibilidad ambiental y agricultura resiliente al cambio climático. *Congreso Internacional de Suelos*. La Habana: Instituto de Suelos, 2018.
- Vázquez, L. L. & Martínez, H. Propuesta metodológica para la evaluación del proceso de reconversión agroecológica. *Agroecología*. 10 (1):33-47, 2015.
- Voisin, A. El suelo y el abono hacen al animal. En: Milagros de la C. Milera Rodríguez, ed. *André Voisin. Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. p. 53-63, 2012.

Recibido el 28 de octubre del 2018

Aceptado el 29 de diciembre del 2018