

Sustainable water buffalo systems in the Latin American humid tropics: an agroecology approach

Aldo Bertoni Mendoza¹
Adolfo Álvarez Macías^{1*}
Daniel Mota Rojas¹
Víctor Manuel Santos Chávez²

Abstract

It is essential to explore alternatives to produce food through models of low energy consumption and reduced greenhouse gas emissions, with high yields. This article reviews research results that document the viability of water buffalo production systems in a favorable and demanding environment such as the Mexican tropics, following agroecological precepts. Basic principles of agroecology applied to livestock production are examined to identify soil-vegetation-water buffalo interaction and enhance resilient processes. Physic-biotic aspects of the tropical region were characterized, especially the richness of forage resources. Also, anatomical, and physiological characteristics of buffaloes were studied to thrive in this environment, under dual-purpose mode, producing meat and milk. Finally, elements are provided for the design of intensive grazing systems, including silvopastoral systems, where buffaloes respond outstandingly. The feasibility of implementing sustainable buffalo systems in the tropics is concluded, through planned intensification processes, which require specialized technical assistance to be successfully adopted.

Keywords: Sustainability, buffalo systems, grazing systems, tropical ecosystems

Los sistemas sostenibles de búfalos de agua en el trópico húmedo latinoamericano: enfoque desde la agroecología

Resumen

Es imprescindible explorar alternativas para producir alimentos a través de modelos de bajo consumo de energía y reducida emisión de gases invernadero, pero con rendimientos elevados. En este artículo se analizan resultados de investigaciones que documentan la viabilidad de los sistemas de producción de búfalos de agua en un ambiente propicio y exigente como el trópico mexicano, siguiendo los preceptos de la agroecología. Se examinan los principios básicos de la agroecología aplicada a la ganadería, para identificar la interacción suelo-vegetación-búfalos y potenciar procesos de resiliencia. Se caracterizaron los aspectos físico-bióticos de la región tropical, en especial sus recursos forrajeros. También se estudian las características anatómicas y fisiológicas de los búfalos para prosperar en este ambiente, bajo la modalidad de doble propósito, produciendo carne y leche. Finalmente, se aportan elementos para diseñar sistemas de pastoreo intensivo, incluyendo los silvopastoriles, en los cuales los búfalos responden de manera sobresaliente. Se concluye que es factible implementar sistemas sustentables de búfalos en el trópico, mediante un proceso de intensificación planificado, que puede suponer el acompañamiento de asistencia técnica especializada para que se puedan adoptar con éxito.

Palabras clave: Sustentabilidad, sistemas bufalinos, sistemas de pastoreo, ecosistemas tropicales.

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Maestría en Ciencias Agropecuarias, Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, C. P. 04960, Coyoacán, Ciudad de México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5, Montecillo, Texcoco Edo. de México. C. P. 56230.

*Corresponding author: aalvarez@correo.xoc.uam.mx alvarezmac@hotmail.com ORCID ID: 0000-0002-8650-0641

Delivering date: April 8th, 2021

Accepting date: September 20th, 2022

Introduction

The recurrent food crisis such as the permanent environmental crisis, is requiring the design of sustainable livestock systems, under two essential premises: to increase the productivity and to reduce the emission of greenhouse gases and the effects over the natural resources. That demands the maximum exploitation of local resources, especially the forage resources in the case of livestock, under schemes that guarantee the recirculation of matter and energy, the reduction of production costs and, at the same time, optimizing the yields (Acosta-Alba et al., 2012). One way to do this lies in systems under intensive grazing, which in the tropical regions have ample potential for consolidation (Milera-Rodríguez et al., 2019).

In this framework, the water buffaloes (*Bubalus bubalis*) represent a privileged option, since it is a rustic species that is well adapted to grazing systems of low inversion and with potential to get outstanding productive results. The buffaloes can be adapted to dual or triple-purpose systems, meat, milk, and working animals, to be developed in the extreme conditions that the climatic change imposes (Bertoni et al., 2019). For this reason, the water buffaloes are replacing or supplementing the dairy and beef livestock in the humid tropics, but following the principles of the management of crossbred *Bos Taurus* and *indicus* livestock (Mota-Rojas et al., 2019).

One of the problems of the traditional livestock systems in the tropical regions is that have caused an excessive deterioration of various ecosystems, such as jungles, contributing to the recent deep ecologic crisis (Antoni et al., 2019). Considering that, there is the challenge of promoting sustainable models, adapted to each local context, that consider the stability of the ecosystems and, at the same time, that are economically profitable (Boeraeve et al., 2020). The agroecology approach has emerged as an option to respond to this challenge, although its adoption for livestock analysis has been limited. In this work, this approach is purposed for tropical livestock, considering that the interaction between soil nutrients, vegetation, and animals as part of integrated systems that can generate economic and ecological sustainability conditions (Bover and Suárez, 2020).

In this context, the aim of this work consisted on exploring the viability of dual-purpose water buffalo

Introducción

Las recurrentes crisis alimentarias como la permanente crisis ambiental, están exigiendo el diseño de sistemas pecuarios sostenibles, bajo dos premisas esenciales: elevar la productividad y reducir la emisión de gases de efecto invernadero y los efectos sobre los recursos naturales. Ello exige el aprovechamiento máximo de los recursos locales, especialmente los recursos forrajeros en el caso de la ganadería, bajo esquemas que garanticen la recirculación de materia y energía, la reducción de costos de producción y, a la vez, optimizar los rendimientos (Acosta-Alba et al., 2012). Una vía para ello reside en los sistemas bajo pastoreo intensivo, que en las regiones tropicales tienen amplias posibilidades de consolidarse (Milera-Rodríguez et al., 2019).

En ese marco, los búfalos de agua (*Bubalus bubalis*), representan una opción privilegiada, dado que se trata de una especie rústica que se adapta muy bien a sistemas pastoriles de baja inversión y con potencial para alcanzar resultados productivos sobresalientes. Los búfalos pueden adaptarse a sistemas de doble o triple propósito, carne, leche y animal de trabajo, y desarrollarse en las condiciones extremas que impone el cambio climático (Bertoni et al., 2019). Por ello, los búfalos de agua están sustituyendo o complementando a la ganadería vacuna de leche y carne en los trópicos húmedos, pero siguiendo los principios del manejo de la cruce de ganado *Bos taurus* e *indicus* (Mota-Rojas et al., 2019).

Uno de los problemas de los sistemas pecuarios tradicionales en las regiones tropicales es que han provocado una desmesurada degradación de distintos ecosistemas, como los selváticos, contribuyendo a la profunda crisis ecológica actual (Antoni et al., 2019). Ante ello, existe el desafío de fomentar modelos sostenibles, adaptados a cada contexto local, que consideren la estabilidad de los ecosistemas y, al mismo tiempo, que sean económicamente rentables (Boeraeve et al., 2020). El enfoque agroecológico ha surgido como una opción para responder a este reto, aunque su adopción para el análisis ganadero ha sido limitada. En este trabajo se propone este enfoque para la ganadería tropical, considerando que la interacción entre sustrato, vegetación y animales como parte de sistemas integrados puede generar condiciones de sustentabilidad económica y ecológica (Bover y Suárez, 2020).

systems in conditions of the humid tropics, following agroecology precepts.

Methodology approach: towards an agroecology conception in the livestock

The concern of promoting sustainable activities in Latin America tropical regions comes from the impacts promoted by agriculture and livestock, relevant activities that have had an impact in the deterioration of jungles since the middle of the last century (Boeraeve et al., 2020), for which, it is transcendental to rethink and redesign practices and technologies that are environmentally sustainable and socially equitable.

Agroecology is understood in a generic way as the form of redesign food systems, from the farm to the table, with the aim of getting ecologic, economic and social sustainability (Gliessman, 2016). It has also been purposed as a science that applies the ecologic principles to the study, design, and management of sustainable agro ecosystems. It implies the diversification oriented to promote beneficial biological and synergy interactions between components of the agro system, to regenerate the fertility of the soil, keep the productivity and ensure the protection of the crops. Among the principles of the agroecology stand out: recycling of nutrients and energy; substitution of external supplies; increasing of organic matter and the biologic activity of soil; diversification of vegetal species and genetic resources in time and space; integration of crops with livestock; and the optimization of the interactions and the productivity of the whole system, instead of isolated yields of different species (Altieri et al., 2012).

One of the basic fundamentals of agroecology resides in that the ecosystems work in a relative stable and self-sustainable form (Bover and Suárez, 2020) in the interest of maximizing the use of abundant energetic supplies, such as the ones that come from solar radiation (Bover and Suárez, 2020).

The structure and operation of agroecosystems can be complex and with a high interdependence among their parts; for this reason, the systems theory is the background in their interpretation. In this sense, the agroecosystems are open systems with structure (land and facilities, for example) and own components (animals); it also has a dynamic (productive process) which is executed from inputs (natural ones, such as

En ese contexto, el objetivo de este trabajo consistió en explorar la viabilidad de los sistemas de doble propósito de búfalos de agua en condiciones del trópico húmedo, bajo los preceptos de la agroecología.

Enfoque metodológico: hacía una concepción agroecológica en la ganadería.

La inquietud de promover actividades sustentables en las regiones tropicales de América Latina deriva de los impactos provocados por la agricultura y la ganadería, actividades relevantes que han incidido en la degradación de las selvas desde mediados del siglo anterior (Boeraeve et al., 2020), por lo cual, resulta transcendental repensar y rediseñar prácticas y tecnologías que sean ambientalmente sostenibles y socialmente equitativas.

La agroecología se entiende de manera genérica como la forma de rediseñar sistemas alimentarios, desde la granja hasta la mesa, con el objetivo de lograr sostenibilidad ecológica, económica y social (Gliessman, 2016). También se ha propuesto como una ciencia que aplica los principios ecológicos al estudio, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Ello implica la diversificación orientada a promover interacciones biológicas y sinergias benéficas entre componentes del agroecosistema, para regenerar la fertilidad del suelo, mantener la productividad y asegurar la protección de los cultivos. Entre los principios de la agroecología destacan: reciclaje de nutrientes y energía; sustitución de insumos externos; aumento de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo; diversificación de especies vegetales y recursos genéticos en tiempo y espacio; integración de cultivos con ganadería; y optimización de las interacciones y la productividad del sistema en su totalidad, en lugar de rendimientos aislados de distintas especies (Altieri et al., 2012).

Uno de los fundamentos básicos de la agroecología reside en que los ecosistemas funcionen de manera relativamente estable y autosostenible (Bover y Suárez, 2020) en aras de maximizar el aprovechamiento de insumos energéticos abundantes, como los provenientes de la radiación solar (Bover y Suárez, 2020).

La estructura y el funcionamiento de los agroecosistemas pueden ser complejos y con alta interdependencia entre sus partes; por tal motivo, la teoría de sistemas está como telón de fondo en su interpre-

solar light and, artificial ones, such as fertilizers and animal foe), outputs (agricultural harvests, meat, milk, among others) and the feedback effects (calves, forages and manure, among others) that unlawfully hold a decisions center (producer and their family) that serves as regulator of the system and its efficiency level (Cuevas-Reyes and Rosales, Nieto, 2018; Vilaboa-Arroniz, 2013). The agroecosystems work with constant interactions among their components with the aim of getting an immediate objective that coincides with the output products: food, raw material, and services, but with the purpose of maintaining and, in this case, improving the life level of the family and the efficiency of the own productive system.

In the agroecosystems, the physic biotic component gains special relevance, as well as the necessities, possibilities and expectations of the producers, which can drive the innovation processes in the development of the farm and with other productive units forge the productive dynamic of lands (Boeraeve et al., 2020; Walters et al., 2016).

The livestock production systems in grazing are considered as agroecosystems, since the synergy between vegetal and animal production and their feedback processes, however, the knowledge and strategies adopted by the controlling entity will define how agroecological the system will be, their regulation mechanisms and to what extent the environment favor that their strategies are effective (Bonaudo et al., 2014).

Another nodal aspect of the ecosystemic vision is the temporal dynamic, which is led by different bioenergetics cycles such as of soil and its nutrients that slowly evolve from trophic interactions and, on other side, the fastest ones, such as microorganism's life cycles that interact with ground, vegetation, and animals (Connor et al., 2013). In the middle there are cycles of vegetation and livestock that limited to cycles more linked to the seasons of the year and, more specifically, to the oscillations of precipitations and temperature, which are the ones that conditioned the productive cycles, especially in extensive systems (González et al., 2018).

It is important to notice that the harmonization of these cycles promotes the ecological stability and balance that makes possible that biodiversity and

tación. En ese sentido, los agroecosistemas son sistemas abiertos con estructura (tierra e instalaciones, por ejemplo) y componentes propios (animales); tiene además una dinámica (proceso productivo) que se ejecuta a partir de entradas (naturales, como luz solar y, artificiales, como fertilizantes y alimento animal), salidas (cosechas agrícolas, carne y leche, entre otros) y los efectos de retroalimentación (crías, forrajes y estiércol, entre otros) que detentan un centro de decisiones (productor y su familia) que funge como regulador del sistema y de su nivel de eficiencia (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018; Vilaboa-Arroniz, 2013). Los agroecosistemas funcionan con constantes interacciones entre sus componentes con el propósito de alcanzar un objetivo inmediato que coincide con los productos de salida: alimentos, materias primas y servicios, pero con la finalidad de mantener y, en su caso, mejorar el nivel de vida de la familia y la eficiencia del propio sistema productivo.

En los agroecosistemas, cobra especial relevancia el componente físico biótico, así como las necesidades, posibilidades y expectativas de los productores, que pueden impulsar los procesos de innovación en el desarrollo de la finca y junto con otras unidades productivas forjar la dinámica productiva de territorios (Boeraeve et al., 2020; Walters et al., 2016).

Los sistemas de producción pecuarios en pastoreo se consideran agroecosistemas, dada la sinergia entre producción vegetal y animal y sus procesos de retroalimentación, sin embargo, el conocimiento y las estrategias que adopte el ente controlador definirán qué tan agroecológico será el sistema, sus mecanismos de regulación y en qué medida el entorno favorece que sus estrategias sean efectivas (Bonaudo et al., 2014).

Otro aspecto nodal de la visión ecosistémica es la dinámica temporal, que está presidida por diferentes ciclos bioenergéticos como el del suelo y sus nutrientes que evolucionan lentamente a partir de interacciones tróficas y, por otro lado, los más rápidos, como los ciclos de vida de microorganismos que interaccionan en suelo, vegetación y animales (Connor et al., 2013). En medio existen ciclos de la vegetación y el ganado que se circunscriben a ciclos más vinculados a las estaciones del año y, más específicamente, a las oscilaciones de precipitación y temperatura, que son los que condicionan los ciclos productivos, especial-

energy flows so that the microorganisms can recycle the nutrients, which establishes ideal conditions for the system to be resilient and, therefore, capable to absorb external changes and perturbations (Bover and Suárez, 2020). Finally, from the ecological management of the grazing systems, livestock models with low emissions, resilient against climate change, and a contribution to the food self-sufficiency of regions and countries can be adopted (Milera-Rodríguez et al., 2019; Domínguez-Díaz et al., 2018).

This analysis about the buffalo systems in tropical conditions was based through secondary information, without first source data. For this, a wise bibliographic review was carried out, selecting 40 scientific articles that were obtained from different databases such as: ScienceDirect, Scopus, the academic Google browser and the digital library of the Autonomous Metropolitan University in Xochimilco (BidiUAM). The information resources from 2010 to 2020 were favor, preferably with impact factor. The key words used in the search of information were: water buffalo, tropics, agroecology, and livestock development. Each one of the concepts were combined with Boolean operators such as “and”, “or”, or “not” for the recovery or original and review articles.

Results and discussion

Three parts were considered, the first one to stand out basic characteristics of the tropical zone; second, the response of buffaloes to these climatic conditions and, finally, the basis for efficient grazing system.

Tropical region: a privileged space for buffalo livestock

The Latin America humid tropics have great natural wealth having livestock as one of their main productive activities, generally, following dual-purpose systems (milk and meat, which can substantially vary about their intensification level and grazing management) based on the exploitation of large meadow zones, which have covered in detriment to the jungle areas (Quero et al., 2018; González et al., 2018).

The capitalist development have encouraged the excessive colonization of tropics, but also the ignorance of the characteristics and processes of this type of ecosystems have influenced. Therefore, it is essen-

mente en sistemas extensivos (González et al., 2018).

Es importante advertir que, la armonización de esos ciclos promueve la estabilidad y equilibrio ecológico que posibilita la biodiversidad y los flujos de energía para que los microorganismos puedan reciclar los nutrientes, lo que establece condiciones óptimas para que el sistema sea resiliente y, por ende, con capacidad de absorber cambios y perturbaciones externas (Bover y Suárez, 2020). Finalmente, a partir del manejo ecológico de los sistemas de pastoreo, se pueden adoptar modelos ganaderos con bajas emisiones, resilientes ante el cambio climático y una contribución a la autosuficiencia alimentaria de regiones y países (Milera-Rodríguez et al., 2019; Domínguez-Díaz, et al., 2018).

Este análisis sobre la viabilidad de los sistemas de búfalos en condiciones tropicales se fundamentó a través de información secundaria, sin datos de primera fuente. Para ello, se llevó a cabo una amplia revisión bibliográfica, seleccionando 40 artículos científicos que se obtuvieron de diferentes bases de datos como: ScienceDirect, Scopus, el buscador Google académico y la biblioteca digital de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco (BidiUAM). Se privilegiaron las fuentes de información de entre 2010 y 2020 y preferentemente con factor de impacto. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda de información fueron: búfalo de agua, trópico, agroecología y desarrollo ganadero. Cada uno de los conceptos se combinó con operadores booleanos como “and”, “or” o “not” para la recuperación de artículos originales y de revisión.

Resultados y discusión

Se consideran tres apartados, el primero para destacar características básicas de la zona tropical; en segundo lugar, la respuesta de los búfalos a estas condiciones climáticas y, finalmente, las bases de sistemas de pastoreo eficientes.

La región tropical: un espacio privilegiado para la ganadería bufalina

El trópico húmedo de América Latina posee grande riqueza natural teniendo a la ganadería como una de sus principales actividades productivas, generalmente, bajo sistemas de doble propósito (leche y carne, que puede variar sustancialmente en cuanto a su ni-

tial to recognize their main characteristics to see their potentialities to implement sustainable systems, but also, some limitations such as seasonality of the forages and their restricted nutritional quality, as well as high average temperature and rainfall (Quero et al., 2018; González et al., 2018). This impose to analyze the water buffalo systems as systemic structures with potential to efficiently prosper and, at the same time, contribute in the conservation and restauration of natural resources (Barboza, 2011).

Physic-biotic aspects

The topical regions are located between the tropics of Cancer and Capricorn and they have distinctive characteristics about latitude, altitude, temperature and precipitation (Connor et al., 2013). The tropics usually exceed 1 000 mm of yearly rainfall, generally fluctuate between 2 000 and 3 000 mm and can exceed 4 000 mm in the most rainy zones; the relative humidity varies between 77 and 88 % respectively (Connor et al., 2013; Cusack et al., 2016). The temperatures goes from 24 to 27 °C during the year with small fluctuations between months and years (Res et al., 2014), representing one of the main causes that a high photosynthetic capacity is registered, therefore, abundant vegetation (Cusack et al., 2016).

Two main parts of the tropics are distinguished, on one side, the dry one that corresponds to Aw climate in the Köppen classification, which is warm sub-humid warm with rains in summer, up to the so-called humid tropics, Af warm humid with rains all the year (Connor et al., 2013). Over this climate is the one that centers the potential of the buffaloes that are stood out in this paper, and that, in the case of Mexico, comprises from the southern part of Veracruz to Campeche, crossing Tabasco and occupying the northern part of Chiapas. This climate can also prevail in part of Central America such as in Costa Rica, Panama, and further south, in wide part of Colombia, Venezuela, Ecuador, Peru, and Brazil, mainly (Patiño et al., 2016; González et al., 2018).

Soils in the tropics are usually thin and fertile since the accelerate cycle of nutrients between soil and vegetation, that thanks to the metabolism of this last one is that absorbs great part of the nutrients, although it quickly reintegrates the soil through the lush dead vegetal material that works to enrich them

vel de intensificación y manejo del pastoreo) basados en el aprovechamiento de amplias zonas de pastizales, las cuales se han abierto en detrimento de áreas selváticas (Quero et al., 2018; González et al., 2018).

El desarrollo capitalista ha alentado la colonización desmedida de los trópicos, pero también ha incidido el desconocimiento de las características y procesos de este tipo de ecosistemas. Por ende, resulta vital reconocer sus características principales para apreciar sus potencialidades para instrumentar sistemas sostenibles, pero también, ciertas limitantes como la estacionalidad de los forrajes y la restringida calidad nutricional de los mismos, así como temperaturas y precipitación pluvial promedios elevadas (Quero et al., 2018; González et al., 2018). Lo anterior impone analizar los sistemas de búfalo de agua como estructuras sistémicas con potencial para prosperar eficientemente y, a su vez, contribuir en la conservación y restauración de los recursos naturales (Barboza, 2011).

Aspectos físico-bióticos

Las regiones tropicales se sitúan entre los trópicos de cáncer y capricornio y poseen características distintivas en cuanto a latitud, altitud, temperatura y precipitación (Connor et al., 2013). Los trópicos suelen superar los 1 000 mm de precipitación pluvial anual, generalmente fluctúan entre los 2 000 y 3 000 mm y pueden rebasar los 4 000 mm en las partes más lluviosas; la humedad relativa varía entre 77 y 88 % respectivamente (Connor et al., 2013; Cusack et al., 2016). La temperatura media oscila entre 24 y 27 °C durante todo el año con reducidas fluctuaciones entre meses y entre años (Res, et al., 2014), representando uno de los principales causantes de que se registre alta capacidad fotosintética y, por ende, vegetación abundante (Cusack et al., 2016).

Se distinguen dos partes principales del trópico, por un lado, el seco que corresponden al clima Aw en la clasificación de Köppen, que es cálido subhúmedo con lluvias en verano, hasta el denominado trópico húmedo, Af cálido húmedo con lluvias todo el año (Connor et al., 2013). Sobre este último clima es que se centra el potencial de los búfalos que se destaca en este documento, y que, en el caso de México, comprende desde el sur de Veracruz, hasta Campeche, pasando por Tabasco y ocupando la parte norte de Chiapas. Este clima también impera en parte de Cen-

with organic matter; therefore; its fertility depends on continuity of the mentioned cycles (Muñoz et al., 2016). Anyhow, it is about soils that for being rich in organic matter usually retain high humid levels and in the rainy seasons tend to be swampy and, in extreme cases, to become water bodies, at least temporarily (Cusack et al., 2016) that are beneficial to water buffalo, since they find a favorable environment for their thermoregulation processes (Patiño et al., 2016).

The extensive forage resources of the Latin America humid tropics

According to the above, there is a great variety of grass in the tropics that, due to anthropogenic effects, in the last decades have been invalidated for African species such as the Giant star (*Cynodon plectostachyus*), Guinea (*Megathyrus maximus*), German (*Echinochloa polystachya*), and Pangola (*Digitaria decumbens*), among others, that are distinguished by being C4 grasses, that is, plants that are able to carry out the photosynthetic process in high temperature environments, what affects grasses with a great volume and a high performance of green matter per hectare, although in dry matter and in bromatological value register medium to low values (Muñoz et al., 2016).

In addition to the predominance of the induced of African origin and some natives, new species have been associated such as those of genera *Brachiarias* and *Pennisetum*, which are causing that the livestock productivity have doubled and tripled during the last years (Quero et al., 2018). Some varieties of tree legumes can be also recognized for the silvopastoral systems such as acacias and leucaenas, which also provides high protein content, they work as living fences and give shade that are very beneficial for water buffaloes (Muñoz et al., 2016).

Generally, the forage resources of the tropics allow the animal loads that usually oscillate between 1 and 3 UA·ha⁻¹, which are very competitive values about other climates and other systems with low technology incorporation. Although following intensive grazing systems can double these animal loads (Milera-Rodríguez et al., 2019; Walters et al., 2016).

In the most of the tropical zones, the growth of the different forage species shows a seasonal character, according to the yearly curves of precipitation

troamérica como en Costa Rica, Panamá, y más al sur, en amplias porciones de Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Brasil, principalmente (Patiño et al., 2016; González et al., 2018).

Los suelos del trópico suelen ser delgados y muy fértiles dado el acelerado ciclo de los nutrientes entre suelo y vegetación, que gracias al metabolismo de esta última absorbe buena parte de los nutrientes, aunque los reintegra rápidamente al suelo a través del exuberante material vegetal muerto que sirve para enriquecerlos de materia orgánica; por tanto; su fertilidad depende de la continuidad de dichos ciclos (Muñoz et al., 2016). De cualquier forma, se trata de suelos que por ser ricos en materia orgánica suelen retener altos niveles de humedad y en las épocas de más lluvias tienden a ser pantanosos y, en casos extremos, a convertirse en cuerpos de agua, al menos de manera temporal (Cusack et al., 2016) que resultan benéficos para los búfalos de agua, dado que encuentran un medio propicio para sus procesos de termorregulación (Patiño et al., 2016).

Los amplios recursos forrajeros del trópico húmedo latinoamericano

Conforme a lo anterior, existe una gran variedad de pastos en el trópico que, por efectos antropogénicos, en las últimas décadas han sido invadidos por especies de origen africano como el Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), Guinea (*Megathyrus maximus*), Alemán, (*Echinochloa polystachya*) y Pangola (*Digitaria decumbens*), entre otros, que se distinguen por ser gramíneas C4, es decir, plantas capaces de llevar a cabo el proceso fotosintético en ambientes con altas temperaturas, lo que repercute en pastos con gran volumen y alto rendimiento de materia verde por hectárea, aunque en materia seca y en valor bromatológico registren valores medios a bajos (Muñoz et al., 2016).

Además de la predominancia de los inducidos de origen africano y algunos nativos, se han asociado nuevas especies como las de los géneros *Brachiarias* y *Pennisetum*, que están propiciando que la productividad ganadera se haya duplicado y triplicado en los últimos años (Quero et al., 2018). También se pueden reconocer algunas variedades de leguminosas arbóreas para los sistemas silvopastoriles como las acacias y las leucaenas, que además de aportar alto

and temperature. For this reason, the fodder production frequently exceeds the nutritive requirements of the livestock during rainy season, when the forages reach the maximum growth peak, contrary to what is observed in dry seasons (Muñoz et al., 2016). This requires a detailed design of the grazing systems, both to harness the forages and to avoid the overgrazing and erosion, among other environmental and productive consequences.

Adaptation of buffalo to the tropical environment

In this humid tropics context, the water buffalo responds synergistically with the available resource, so they can stick to the agroecological precepts (Barboza, 2011). Following dual-purpose systems (milk and meat of high positional value), base their feeding on grazing, following an extensive or semi intensive regime (Vilaboa-Arroniz, 2013), strengthening the soil-plant-animal relation and using the rusticity of water buffaloes (Barboza, 2011; Iglesias et al., 2019).

The conduction of these animals can be favored for their social behavior that allows to conduct them by groups in assigned grazing plots (Bonaudo et al., 2014). The water buffalo has demonstrated high capacity to walk, even in swampy zones, thanks to their big hoofs and flexible articulations, in addition to generate between 4 and 6 tons of humid manure, plus additional urine that are used as bio fertilizers for soil (Pal and P. N. Chatterjee, 2013), that reduce or eliminate the synthetic fertilization (Brewer and Gaudin, 2020). Thus, the animal load and the herd effect caused by groups of water buffaloes favor the infiltration of nutrients, as well as the flare-up of meadows, for which grazing times must be optimally planned in each plot. Likewise, the vegetal growth is favored thanks to the organic matter and to the activation of soil micro fauna (Bover and Suárez, 2020).

The more efficient the interactions between soil-plant-livestock are, there are more probabilities that the agroecosystems are achieved and the expenditures for inputs external to the system are minimized (Ann and George, 2014; Antoni et al., 2019; Brewer and Gaudin, 2020), however, any dysfunctional process could have an effect on a suboptimal functioning of the system, as can be the grass lignification, the soil and environment pollution for excessive accumulation of feces in certain grazing zones or the proliferation of plagues and diseases, among other possibilities (Brewer and Gaudin, 2020).

contenido proteico, sirven como cercos vivos y brindan sombra que es muy benéfica para los búfalos de agua (Muñoz et al., 2016).

Por lo general, los recursos forrajeros del trópico permiten cargas animales que suelen oscilar entre 1 y 3 UA·ha⁻¹, que son valores muy competitivos respecto a otros climas y otros sistemas con baja incorporación de tecnología. Aunque bajo sistemas de pastoreo intensivo pueden duplicar estas cargas animales (Milera-Rodríguez et al., 2019; Walters et al., 2016).

En la mayoría de las zonas tropicales, el crecimiento de las diferentes especies forrajeras muestra un carácter estacional, acorde a las curvas anuales de precipitación y temperatura. Por ello, la producción de forraje suele exceder los requerimientos nutritivos del ganado durante la época de lluvias, cuando los forrajes alcanzan su pico máximo de crecimiento, contrario a lo que se observa en la época de secas (Muñoz et al., 2016). Lo anterior exige un diseño detallado de los sistemas de pastoreo, tanto para aprovechar los forrajes como para evitar sobrepastoreo y erosión, entre otras secuelas ambientales y productivas.

La adaptación del búfalo al entorno tropical

En este contexto del trópico húmedo, el búfalo de agua responde de manera sinérgica con los recursos disponibles, por lo que se puede apegar a los preceptos agroecológicos (Barboza, 2011). Bajo sistemas de doble propósito (leche y carne de alto valor composicional), basan su alimentación en pastoreo, bajo régimen extensivo o semi intensivo (Vilaboa-Arroniz, 2013), fortaleciendo la relación suelo-planta-animal y aprovechando la rusticidad de búfalos de agua (Barboza, 2011; Iglesias et al., 2019).

La conducción de estos animales se puede favorecer por su comportamiento gregario, que permite conducirlos por grupos en las parcelas de pastoreo asignadas (Bonaudo et al., 2014). El búfalo de agua ha demostrado alta capacidad para caminar, incluso en zonas pantanosas, gracias a sus grandes pezuñas y articulaciones flexibles, además de generar entre 4 y 6 toneladas de estiércol húmedo, más orina adicional que sirven como biofertilizantes para el suelo (Pal y P. N. Chatterjee, 2013), que aminoran o eliminan la fertilización sintética (Brewer y Gaudin, 2020). Así, la carga animal y el efecto *manada* que propician los grupos de búfalos de agua, favorecen la infiltración de

Bovines are common in tropical dual-purpose production systems, however, the tropical forage consumption with a high amount of cellulose (greater than 70 % of the MS) and lignin (Montenegro et al., 2016; Sahu et al., 2020) complicate the digestion of them and, therefore, it affects in a slow rate of passage and longer retention time in the rumen, increasing the molar proportion of acetic acid that prevents animals from expressing their full productive potential (Montenegro et al., 2016) and, on the contrary, that increase the CH₄ production derived from ruminal enteric fermentation (Sahu et al., 2020).

In contrast, the anatomic and physiological characteristics of the digestive system of water buffalo strengthen the tropical forage use, thanks to its big snout, the great mobility of its tongue, which allows it a high rate of forage intake. In addition, the greater rumen weight of buffalo harbors a larger microbial population than bovine, which favor a better forage conversion, even when it has been lignified or it contains a high humid percentage, so on few occasions it is necessary to appeal to food supplementation schemes for its maintenance and productivity (Bertoni et al., 2019; Pal and P. N. Chatterjee, 2013).

The efficient recovery of forages with a high content of neutral detergent fiber reduces the production of enteric methane, which can represent a direct loss of 3 to 12 % of gross energy (Montenegro et al., 2016; Prusty et al., 2017). Therefore, its efficiency is beneficial for both environment and for the animal itself, following the agroecological principle of optimizing the flow of nutrients (Prusty et al., 2017).

As a matter of fact, buffalo consumes less dry matter than bovine livestock, in average 2.59 % of its live weight for 3.09 % of bovines with similar production and weight, so the buffalo is less demanding of soil nutrients and of the ecosystem in general, as well as external supplies (food supplements or fertilizers, among others) (Paul and Lal, 2010). It can harness forage native biomass considered to be low bromatological quality for bovines, which could mitigate the importation of forage and grass seeds that threaten endemic vegetation biodiversity and that, frequently, are more demanding of nutrients. With that being said, the optimization of nutrients and the conservation of the biodiversity respond to agroecological principles (Boeraeve et al., 2020).

los nutrientes, así como el rebrote de los pastizales, para lo cual se deben planear óptimamente los tiempos de pastoreo en cada parcela. De igual forma, se favorece el crecimiento vegetal gracias a la materia orgánica y a la activación de la microfauna del suelo (Bover y Suárez, 2020).

Entre más eficientes sean las interacciones entre suelo-cultivo-ganado, más probabilidades de que se cumplan los procesos agroecosistémicos y se minimicen las erogaciones por insumos externos al sistema (Ann y George, 2014; Antoni et al., 2019; Brewer y Gaudin, 2020), sin embargo, cuando algún proceso resulta disfuncional podría repercutir en un funcionamiento subóptimo del sistema, como puede ser la lignificación de pastos, la contaminación de suelo y ambiente por la excesiva acumulación de heces en ciertas zonas de pastoreo o la proliferación de plagas y enfermedades, entre otras posibilidades (Brewer y Gaudin, 2020).

Los bovinos son comunes en sistemas de producción tropicales de doble propósito, sin embargo, el consumo de forrajes tropicales con elevada cantidad de celulosa (superiores a 70 % de la MS) y lignina (Montenegro et al., 2016; Sahu et al., 2020) complica la digestión de los mismos y, por ende, repercute en una lenta tasa de pasaje y en mayor tiempo de retención en el rumen, aumentando la proporción molar de ácido acético que impide que los animales expresen su máximo potencial productivo (Montenegro et al., 2016) y, por el contrario, que eleve la producción de CH₄ derivado de la fermentación entérica ruminal (Sahu et al., 2020).

En contraste, las características anatómicas y fisiológicas del sistema digestivo del búfalo de agua potencian el aprovechamiento de forrajes tropicales, gracias a su hocico de gran tamaño, a la gran movilidad de lengua, lo que le permite una alta tasa de ingesta de forraje. Además, el mayor peso del rumen del búfalo alberga una mayor población microbiana que los vacunos, lo que favorece una mejor conversión del forraje, incluso cuando se han lignificado o contienen alto porcentaje de humedad, por lo cual en pocas ocasiones es preciso apelar a esquemas de suplementación alimenticia para su mantenimiento y productividad (Bertoni et al., 2019; Pal y P. N. Chatterjee, 2013).

La valorización eficiente de forrajes con alto contenido de fibra detergente neutro reduce la produc-

As it was mentioned above, in the livestock systems of the humid tropics zones of partial or total flooding are common, which can be difficult to access for traditional livestock species, which causes that invasive vegetal species proliferate, saturate the landscape and restrict basic function of the ecosystems (Barboza, 2011). These zones are accessible to water buffaloes thanks to their anatomic and physiological characteristics, since they consume the vegetation of the wetlands and influence the control of this vegetation to recover the water bodies which are essential for wild flora and fauna species (Barboza, 2011); in addition, wetlands, ponds, dams, and mud are necessary for thermoregulation of water buffalo since its body absorbs a large quantity of solar radiation due to the scarce fur, reduced amount of hair follicle and dark skin, which makes it susceptible to thermal stress, due to its low sweating capacity (Maraí and Haebe, 2010).

In this way, the water buffalo shows a high resistance to diseases, in contrast to conventional livestock of tropical zones that usually suffers from diseases of hooves, mastitis, and ectoparasitic infections derived from excessive humidity and high temperatures of the tropics (Bertoni et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019). Thanks to the above, water buffalo is generally in good health (Benítez et al., 2012), and, therefore, it presents low death rates and, in contrast, high fertility percentages, precociousness, and longevity which is summarized in a low number of discard animals, beginning of the productive life at an early age, reduction of generational intervals and, at the same time, capacity to procreate great number of reserves (Bertoni et al., 2019).

As a matter of fact, efficient and healthy animals expel less greenhouse effect gases and can generate higher economic benefits (Milera-Rodríguez et al., 2019).

Possibilities of pastoral and silvopastoral systems

Among the livestock systems that best adhere to the agroecology principles, pastoral ones stand out, which can be adapted following various formats, as the ones that strictly depend on herbaceous or the silvopastoral ones, which combine the livestock with different vegetation strata as food source, specially trees that provide shade, work as fences, provide wood and fruits and, at the same time, favor the re-

ción de metano entérico que puede representar una pérdida directa del 3 al 12 % de la energía bruta (Montenegro et al., 2016; Prusty et al., 2017). Por tanto, su eficiencia es benéfica tanto para el medio ambiente como para el propio animal, bajo el principio agroecológico de optimizar el flujo de nutrientes (Prusty et al., 2017).

De hecho, el búfalo consume menos materia seca que el ganado bovino, en promedio 2.59 % de su peso vivo por 3.09 % de los vacunos con producciones y pesos similares, por lo que el búfalo es menos demandante de nutrientes del suelo y del ecosistema en general, así como de insumos externos (suplementos alimenticios o fertilizantes, entre otros) (Paul y Lal, 2010). Incluso puede aprovechar biomasa forrajera nativa considerada de baja calidad bromatológica para los vacunos, lo cual, podría atenuar la importación de forrajes y de semillas de pastos que atentan contra la biodiversidad vegetal endémica y que, con frecuencia, son más demandantes de nutrientes. Dicho lo anterior, la optimización de nutrientes y la conservación de la biodiversidad responden a principios agroecológicos (Boeraeve et al., 2020).

Como se apuntaba previamente, en los sistemas ganaderos del trópico húmedo son comunes las zonas de parcial o total inundación, que suelen ser de difícil acceso para especies ganaderas tradicionales, lo cual propicia que especies vegetales invasoras proliferen, saturen el paisaje y restrinjan funciones básicas de los ecosistemas (Barboza, 2011). Dichas zonas son accesibles para los búfalos de agua gracias a sus características anatómicas y fisiológicas, ya que consumen la vegetación de los humedales e inciden en el control de esta vegetación para recuperar los espejos de agua que son indispensables para especies silvestres de flora y fauna (Barboza, 2011); además, por esta vía se aprovechan áreas que de otra forma estarían prácticamente inutilizadas (Caraballoso, et al., 2011). De ello deriva que el búfalo de agua elimine vegetación indeseable (Barboza, 2011) y estimule la fauna benéfica (Bover y Suárez, 2020). Además, los humedales, charcas, represas y lodo son necesarias para la termorregulación del búfalo de agua ya que su cuerpo absorbe una gran cantidad de radiación solar debido a su escaso pelo, reducida cantidad de folículos pilosos y piel oscura, lo que lo hace

generation and conservation of the ecosystem (Röhrig et al., 2020). These last systems provide complementary benefits such as carbon storage, biodiversity improvement, hydric regulation, erosion control and they soften the soil compaction, implicating that the ecosystemic services can be improved as an efficient cycle of nutrients (Pezzopane et al., 2019; Röhrig et al., 2020). Under these interrelations, the obtaining of products that can be organic or, at least, with low content of chemical wastes or contaminants strengthening the exceptional nutritional characteristics of the products of water buffaloes, which can respond to healthier consumption habits (Bertoni et al., 2019).

In a silvopastoral system with associated to grasses, shrubs, and trees, different food sources can also be available depending on the time of the year. For this interaction between species to be positive, some conditions must be fulfilled, for example, grasses that are developed under the shade that trees project or that fertility that leguminous trees produce serves to enrich, at least with nitrogen, the soil (Iglesias et al., 2019; Röhrig et al., 2020). Tree vegetation generates leaves and fruits that are usually an excellent food supplement, especially leguminous harnessing the buffalo capacities to consume them (grazing). In addition, this management can involve vegetal species that are developed in flooded zones and that buffaloes properly consume and process (Iglesias et al., 2019).

In an experiment that was evaluated in a silvopastoral system in Cuba by Iglesias et al. (2019), the performance of Murrah water buffaloes against zebu bulls was compared, it was recorded that the first ones showed better results since they register daily weight profits significantly higher ($P < 0.05$) than zebu livestock (0,775 g and 0,601 g, respectively). From a behavioral point of view, buffaloes showed low stress level and, on the contrary, registered longer cub time than bovines that were express in a more efficient food processing. The importance of trees increases when there are not ponds or water sources so that buffaloes claim their thermoregulation process, since the shade avoids the animal stress (Marai and Haebe, 2010).

In recent times, intensive grazing systems have been polished, since they imply a detailed planning process based on the adequate knowledge of ecosystems, in which buffaloes can work with high

susceptible al estrés térmico, dada su baja capacidad de sudoración (Marai y Haebe, 2010).

Del mismo modo, el búfalo de agua exhibe alta resistencia a enfermedades, en contraste con el ganado convencional de las zonas tropicales que suele padecer enfermedades de pezuñas, mastitis e infecciones ectoparasitarias derivadas del exceso de humedad y las altas temperaturas del trópico (Bertoni et al., 2019; Mota-Rojas et al., 2019). Gracias a lo anterior, el búfalo de agua generalmente mantiene un buen estado de salud (Benitez et al., 2012), y, por ende, presenta bajas tasas de mortalidad y, en contraparte, altos porcentajes de fertilidad, precocidad y longevidad lo cual se resume en un bajo número de animales de descarte, comienzo de la vida productiva a edades tempranas, reducción de intervalos generacionales y, al mismo tiempo, capacidad de procrear gran número de reemplazos (Bertoni et al., 2019).

De hecho, los animales eficientes y sanos expulsan menos gases de efecto invernadero y pueden generar mayores beneficios económicos (Milera-Rodríguez et al., 2019).

Las posibilidades de los sistemas pastoriles y silvopastoriles

Dentro de los sistemas pecuarios que mejor se apegan a los principios de la agroecología, destacan los pastoriles, que pueden adoptarse bajo varios formatos, como los que dependen estrictamente de herbáceas o los silvopastoriles, que combinan al ganado con los diferentes estratos de vegetación como fuente de alimentación, especialmente árboles que proporcionan sombra, funcionan como cercos, aportan madera y frutos y, a la par, favorecen la regeneración y conservación del ecosistema (Röhrig, et al., 2020). Estos últimos sistemas brindan beneficios complementarios como el almacenamiento de carbono, mejora de la biodiversidad, regulación hídrica, control de erosión y amortiguan la compactación del suelo, implicando que se puedan mejorar los servicios ecosistémicos como un eficiente ciclo de nutrientes (Pezzopane et al., 2019; Röhrig et al., 2020). En virtud de dichas interrelaciones se favorece la obtención de productos que pueden ser orgánicos o, al menos, con bajos contenidos de residuos químicos o contaminantes potenciando las características nutricionales excepcionales de los productos de los

animal loads, with short occupation periods and long periods of rest, so that the condition of the pasturage is optimal and it is reflected in a high livestock yield (Milera-Rodríguez et al., 2019). In this logic the bases of the rational grazing system can be retaken, as the Savory method which is considered as a holistic management, as well as Voisin grazing, which are the basis of most current intensive grazing systems ((Milera-Rodríguez et al., 2019).

In the same way, it is important to install electric fences, both internal and perimeter, to prevent buffaloes from invading cells of resting grazing or migrating to other properties and break the system balance, since these animals are given to trespass traditional fences when visualizing forage resources in better conditions (Carballoso et al., 2011).

It is worth mentioning the option of the integrated systems, of agriculture and livestock, that contribute applying the agroecology principles, when strengthening bonds between different biophysical components of the system, they offer opportunities for the multifunctionality that, especially in the case of the small producers, by cushioning the risks posed by extreme weather events and the access to markets, in order to increase the global productivity of the system and enable the diversification of sources of incomes (Bover & Suárez, 2020).

Final considerations

Water buffaloes and tropics represent elements with potential to generate positive synergies and, in this way, encourage agroecological models, with low incorporation of supplies and moderate production costs that allow elevating the availability of good quality meat and milk. In order for this to work, a deep knowledge of this animal species, of the tropical ecosystem is required, as well as ecological principles of the intensive grazing systems, which means that the producers must gradually develop capacities and that can involve the accompaniment of specialized technical assistance so that the producer can consolidate their instrumentation.

Rusticity of water buffaloes and their anatomic and physiological characteristics represent favorable aspects to implement semi intensive systems, with high animal loads per hectare, and outstanding productivity levels, even with forage species that

búfalos de agua, que pueden responder a hábitos de consumo más sanos (Bertoni et al., 2019).

En un sistema silvopastoril con la asociación de pastos, arbustos y árboles, también se puede disponer de diferentes fuentes de alimentación según la época del año. Para que esta interacción entre especies sea positiva deben cumplirse algunas condiciones, por ejemplo, pastos que se desarrollen bajo la sombra que ejercen los árboles o que la fertilidad que producen los árboles de leguminosas sirva para enriquecer, al menos de nitrógeno, el suelo (Iglesias et al., 2019; Röhrig et al., 2020). La vegetación arbórea genera hojas y frutos que suelen ser un excelente complemento alimenticio, especialmente cuando se trata de leguminosas aprovechando la capacidad de los búfalos para consumirlas (*ramoneo*). Además, este manejo puede implicar a las especies vegetales que se desarrollan en zonas inundadas y que los búfalos consumen y procesan adecuadamente (Iglesias et al., 2019).

En un experimento en el que se evaluó un sistema silvopastoril en Cuba por Iglesias et al. (2019), se comparó el desempeño de búfalos de agua Murrah versus toros cebú, se consignó que los primeros mostraron mejores resultados ya que registraron ganancias de peso diario significativamente mayores ($P < 0.05$) que el ganado cebú, (0,775 g y 0,601 g, respectivamente). Desde el punto de vista conductual los búfalos revelaron bajo nivel de estrés y, por el contrario, registraron tiempos de rumia más largos que los bovinos que se expresaron en un más eficiente procesamiento de los alimentos. La importancia de los árboles aumenta cuando no existen charcas u fuentes de agua para que los búfalos aseguren su proceso de termorregulación, ya que la sombra evita el estrés de los animales (Marai y Haeeb, 2010).

En los últimos tiempos se vienen afinando los sistemas de pastoreo intensivo, que implican un proceso de planeación detallado fundado en el adecuado conocimiento del ecosistema, en los cuales los búfalos se pueden funcionar con cargas animales elevadas, con períodos de ocupación cortos y lapsos de descanso largos, para que la condición del agostadero sea óptima y se refleje en un elevado rendimiento del ganado (Milera-Rodríguez et al., 2019). En esta lógica es que se pueden retomar las bases de los sistemas de pastoreo racional, como el méto-

are part of the native biodiversity. This would be a sustainable way that denotes other meaningful advantages, among which stand out: reducing greenhouse effect gases, mitigating other negative effects on soils and vegetation, and, ultimately, contributing to regeneration of tropical systems, which have been severely affected in the last decades by productive models poorly adapted to their characteristics. For this reason, it is still necessary to have more research and empirical evidences that allows specifying the technological models and insert them into the regional context, as can be the dynamic of the markets and the public policies that influence on the performance of the buffalo systems.

End of English version

References / Referencias

- Acosta-Alba, I., López-Ridaura, S., Werf, H. M. G. Van Der, Leterme, P., y Corson, M. S. (2012). Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale: an application to dairy farms in Brittany, 28, 160-167. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.061>
- Altieri, M., Nicholls, C., y Nicholls, C. (2012). Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7(2), 65-83.
- Ann, C., y George, P. S. (2014). Teaching in an High Authentic Ability Middle Learners. *Journal of Animal Science*, 35(5), 7-11. Retrieved from <https://doi.org/10.2527/jas2013-6583>
- Antoni, C., Huber-Sannwald, E., Reyes Hernández, H., van't Hooft, A., y Schoon, M. (2019). Socioecological dynamics of a tropical agricultural region: Historical analysis of system change and opportunities. *Land Use Policy*, 81, 346-359. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.028>
- Barboza, J. G. (2011). Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Tecnología en Marcha*, 24(5), 82-88.
- Benitez, D., Cetrá, B., y Florin-Christensen, M. (2012). Rhipicephalus (Boophilus) Microplus Ticks can Complete their Life Cycle on the Rhipicephalus

do Savory que se considera un manejo holístico, así como el pastoreo Voisin, que son la base de la mayoría de los sistemas actuales de pastoreo intensivo (Milera-Rodríguez et al., 2019).

En el mismo sentido, es importante instalar cercos eléctricos, tanto internos como perimetrales, para evitar que los búfalos invadan células de pastoreo en descanso o migren a otras propiedades y se rompa el equilibrio del sistema, ya que estos animales son proclives a sobrepasar los cercos tradicionales cuando visualizan recursos forrajeros en mejor condición (Carabaloso et al., 2011).

Cabe mencionar la opción de los sistemas integrados, de agricultura y ganadería, que coadyuvan en aplicar los principios agroecológicos, al estrechar los vínculos entre los distintos componentes biofísicos del sistema, ofrece oportunidades para la multifuncionalidad que, especialmente en el caso de los pequeños productores, al amortiguar los riesgos que suponen los eventos climáticos extremos y el acceso a mercados, para de esta forma incrementar la productividad global del sistema y posibilitar la diversificación de fuentes de ingresos (Bover & Suárez, 2020).

Consideraciones finales

Los búfalos de agua y el trópico representan elementos con potencial para generar sinergias positivas y, en esa medida, fomentar modelos agroecológicos, con baja incorporación de insumos y costos de producción moderados, que permitan elevar la disponibilidad de carne y leche de buena calidad. Para que ello funcione, se requiere de un conocimiento profundo de esta especie animal, del ecosistema tropical, así como de principios ecológicos de los sistemas de pastoreo intensivos, lo cual supone que los productores deben desarrollar capacidades paulatinamente y que puede implicar el acompañamiento de asistencia técnica especializada para que los productores puedan consolidar su instrumentación.

La rusticidad de los búfalos de agua y sus características anatómicas y fisiológicas representan aspectos favorables para implementar sistemas semi intensivos, con altas cargas animales por hectárea, y niveles de productividad sobresalientes, incluso con especies forrajeras que forman parte de la biodiversidad nativa. Esta sería una vía sustentable que denota otras ventajas significativas, entre las que destacan:

- (Boophilus) Microplus Ticks can Complete their Life Cycle on the Water Buffalo (*Bubalus bubalis*), (January). Retrieved from <https://doi.org/10.6000/1927-520X.2012.01.02.11>
- Bertoni, A., Álvarez, A., y Mota-Rojas, D. (2019). Desempeño productivo de los búfalos y sus opciones de desarrollo en las regiones tropicales. *Sociedades Rurales Producción y Medio Ambiente*, 19(38), 59-80.
- Boeraeve, F., Dendoncker, N., Cornélis, J. T., Degruene, F., y Dufrêne, M. (2020). Contribution of agroecological farming systems to the delivery of ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 260, 109576. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109576>
- Bonaudo, T., Bendahan, A. B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., Tichit M., y Détails. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, 43-51. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>
- Bover-Felices, K., y Suárez-Hernández, J. (2020). Contribution of the agroecology approach in the functioning and structure of integrated agroecosystems. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 102-111.
- Brewer, K. M., y Gaudin, A. C. M. (2020, October 1). Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. *Soil Biology and Biochemistry*. Elsevier Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107936>
- Carballoso, A., Borroto, Á., y Pérez, R. (2011). Conducta de búfalos en pastoreo en humedales de Ciego de Ávila, Cuba Behavior of grazing buffaloes in wetlands of Ciego de Ávila, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34(2), 211-218.
- Connor, S., Nelson, P. N., Armour, J. D., y Hénault, C. (2013). Hydrology of a forested riparian zone in an agricultural landscape of the humid tropics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 180, 111-122. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.006>
- Cuevas-Reyes, V., y Rosales Nieto, C. (2018). Characterization of the dual-purpose bovine system in northwest Mexico: Producers, resources and problematic. *Revista MIVZ Cordoba*, 23(1), 6448-6460. Retrieved from <https://doi.org/10.21897/rmvz.1240>
- reducir la producción de gases de efecto invernadero, mitigar otros efectos negativos sobre suelos y vegetación y, en última instancia contribuir a la regeneración de ecosistemas tropicales, los cuales han sido severamente afectados en las últimas décadas por modelos productivos poco adaptados a sus características. Para ello, todavía es necesario disponer de mayores evidencias de investigación y empíricas, que permitan precisar los modelos tecnológicos e insertarlos en el contexto regional, como puede ser la dinámica de los mercados y las políticas públicas que inciden en el desempeño de los sistemas bufalinos.
- Fin de la versión en español*
- =====
- Cusack, D. F., Karpman, J., Ashdown, D., Cao, Q., Ciochina, M., Halterman, S., N. (2016). Global change effects on humid tropical forests: Evidence for biogeochemical and biodiversity shifts at an ecosystem scale. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/2015RG000510>
- Domínguez-Díaz, E., Oliva, G. E., Báez-Madariaga, J., Suárez-Navarro, Á., y Pérez-Castillo, C. (2018). Efectos del pastoreo holístico sobre la estructura y composición vegetal en praderas naturalizadas de uso ganadero, provincia de Última Esperanza, región de Magallanes. Chile. 46(3), 17-28.
- Gliessman, S. (2016). Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(3), 187-189. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>
- González, R. I. C., Palma, G. J. M., Zyanya, S. C. N. N., Gómez, F. G. T., y Galindo, M. F. A. (2018). Recursos naturales y ganadería en el trópico, in: González, P. E., Dávalos, F. J. L.(Eds.), Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. REDGATRO, Ciudad de México, pp. 44-58.
- Iglesias, J. M., Galloso, M., Toral, O. C., y Aguilar, A. (2019). Comportamiento productivo y conducta de búfalos de río y toros Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*, 42(3), 223-229.
- Marai, I. F. M., y Haebe, A. A. M. (2010, February 1). Buffalo's biological functions as affected by heat stress-A review. *Livestock Science*.

- Elsevier. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.001>
- Milera-Rodríguez, M. D. C., Machado-Martínez, R. L., Alonso, O., Hernández-Chávez, M. B., y Sánchez-Cárdenas, S. (2019). Pastoreo racional intensivo como alternativa para una ganadería baja en emisiones intensive rational grazing as alternative for low-emission animal husbandry, 42(1), 3-12.
- Montenegro, J., Barrantes, E., y DiLorenzo N. (2016). Methane emissions by beef cattle consuming hay of varying quality in the dry forest ecosystem of Costa Rica. *Livestock Science*, 192, 45-50. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.09.008>
- Mota-Rojas, D., Rosa, G. De, Mora-Medina, P., Braghieri, A., Guerrero-Legarreta, I., y Napolitano, F. (2019). Dairy buffalo behaviour and welfare from calving to milking, (035), 1-9. Retrieved from <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201914035>
- Muñoz, J. C., Huerta, M., Bueno, A. L., y Rangel, R. (2016). Production and nutritional quality of forages in conditions Humid Tropics of Mexico. *Resumen Introducción*, 3315-3327.
- Pal Aruna, y Chatterjee, P. N. (2013). Field level study of the buffalo bullock: an excellent draught animal. *Buffalo Bulletin* Vol. 32, núm. 3, 218-230.
- Paul, S. S., y Lal, D. (2010). *Nutrient Requirements of Buffaloes*. Azadpur, Delhi, India: Satish Serial Publishing House. 138 pp.
- Patiño, E. M., Crudeli, G. A., y Mitat-Valdés, A. (2016). Origen, Distribución y Razas, in: Crudeli, G. A. Konrad, J. L., Patiño, E. M. (Eds.), *Reproducción en Búfalas*. Moglia, Argentina, pp. 27-36.
- Pezzopane, J. R. M., Nicodemo, M. L. F., Bosi, C., García, A. R., y Lulu, J. (2019). Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *Journal of Thermal Biology*, 79, 103-111. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015>
- Prusty, S., Kundu, S. S., y Kumar Sharma, V. (2017). Nutrient utilization and methane emissions in Murrah buffalo calves fed on diets with different methanogenic potential. *Livestock Science*, 202, 89-95. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.023>
- Quero, C. A. R., Enríquez, Q. J. F., Bolaños, A. E. D., y Villanueva, A. J. F. (2018). Forrajes y pastoreo en México tropical, in: González, P. E., Dávalos, F. J. L. (Eds.), *Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical*. REDGATRO. Ciudad de México, pp. 66-85.
- Res, C., Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T., y Kalvová, J. (2014). Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha, 59(1961), 1-13. Retrieved from <https://doi.org/10.3354/cr01204>
- Röhrig, N., Hassler, M., y Roesler, T. (2020). Capturing the value of ecosystem services from silvopastoral systems: Perceptions from selected Italian farms. *Ecosystem Services*, 44, 101152. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101152>
- Sahu, B. K., Parganiha, A., y Pati, A. K. (2020). Behavior and Foraging Ecology of Cattle: A Review. *Journal of Veterinary Behavior*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2020.08.004>
- Vilaboa-Arroniz, J. (2013). La ganadería doble propósito desde una visión. *Agro Productividad*, 6, 9-15.
- Walters, J. P., Archer, D. W., Sassenrath, G. F., Hendrickson, J. R., Hanson, J. D., Halloran, J. M., y Alarcvov, V. J. (2016). Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecological Modelling*, 333, 51-65. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.015>

