



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS VERACRUZ**

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD NUTRITIVA DE *Hyparrhenia rufa* BAJO  
PASTOREO REGENERATIVO EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO**

**MIGUEL ÁNGEL CASTRO MENDOZA**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO  
2019

La presente tesis, titulada: **Productividad y calidad nutritiva de *Hyparrhenia rufa* bajo pastoreo regenerativo en clima cálido subhúmedo**, realizada por el alumno: **Miguel Ángel Castro Mendoza**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
AGROECOSISTEMAS TROPICALES  
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



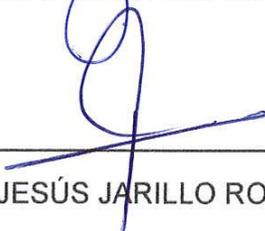
DR. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESORA:



DRA. SILVIA LÓPEZ ORTIZ

ASESOR:



DR. JESÚS JARILLO RODRÍGUEZ

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 13 de mayo 2019.

PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD NUTRITIVA DE *Hyparrhenia rufa* BAJO PASTOREO  
REGENERATIVO EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO

Miguel Ángel Castro Mendoza, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2019

Se evaluó la productividad, composición química y botánica, carga animal y tiempo de recuperación de *Hyparrhenia rufa*, aplicando principios del pastoreo racional Voisin (PRV), en un ambiente cálido subhúmedo. Se establecieron 16 potreros de 625 m<sup>2</sup> y durante 14 meses se muestreó la biomasa y se pastorearon bovinos cuando la pastura llegó a su punto óptimo de reposo (en las épocas de lluvias, transición a seca y seca). Se realizaron cuatro muestreos de biomasa (lluvias y transición en años 1 y 2) y en cada uno, los potreros se separaron (análisis cluster), en 2 grupos (por el nivel de producción): G1: potreros con menor productividad y mayor composición de arvenses (42–74 %) y G2: potreros con mayor productividad y dominancia de *H. rufa* (72–100 %). La biomasa disponible fue superior en los muestreos realizados en lluvias (G1: 2160, 757 y 420 kg MS ha<sup>-1</sup>; G2: 3300, 2807 y 3356 kg MS ha<sup>-1</sup>, en muestreos 1, 3 y 4, respectivamente), ligeramente menor en la transición (G1: 1330 y G2: 4249 kg MS ha<sup>-1</sup> en muestreo 2) y nula en época seca. La carga animal varió según la biomasa disponible, los potreros de G2 en todos los muestreos soportaron entre 80 y 449 unidades de ganado mayor (UGM), equivalente a capacidad de carga de 1.9 a 3.1 UGM ha<sup>-1</sup>. El forraje disponible contenía 5.2 % de proteína cruda, 68.3-70.8 % de fibra detergente neutro y 38.0-41.7 % de fibra detergente ácido a través de todas las épocas. El tiempo de recuperación de la pastura osciló entre 2 y 98 d en lluvias y 188 hasta 244 d en la época seca (después del último pastoreo en transición). El PRV contribuye a mantener la carga animal > 1 UGM, a utilizar toda la biomasa disponible en las pasturas, y disminuir la variación en la calidad nutritiva del forraje, pero en condiciones de estiajes tan largos la disponibilidad de forraje debe basarse más en la disponibilidad de potreros reservados y en espera de su periodo de ocupación para el momento que estén listos y se necesiten.

**Palabras clave:** pastoreo regenerativo, biomasa forrajera, carga animal, tiempo de reposo.

PRODUCTIVITY AND NUTRITIVE QUALITY OF *Hyparrhenia rufa* USING  
REGENERATIVE GRAZING IN A WARM SUBHUMID CLIMATE REGION

Miguel Ángel Castro Mendoza, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2019

The productivity, chemical and botanical composition, animal load and recovery time of *Hyparrhenia rufa* were evaluated, using principles of Voisin rational grazing (PRV), in a subhumid warm environment. Sixteen paddocks of 625 m<sup>2</sup> were built and biomass was sampled over 14 months the cattle were grazed when the pasture reached its optimum resting time (during the rainy, transition to dry and dry seasons). Four samplings of biomass were carried out (rainy and transition in years 1 and 2) and in each, the pastures were classified (cluster analysis), into 2 groups (by productivity): G1: paddocks with lower productivity and greater composition of broad leaf vegetation (42-74%) and G2: paddocks with greater productivity and dominance of *H. rufa* (72-100%). Forage biomass was higher in the samplings performed in the rainy season (G1: 2160, 757 and 420 kg DM ha<sup>-1</sup>; G2: 3300, 2807 and 3356 kg DM ha<sup>-1</sup>, in samplings 1, 3 and 4, respectively), and lower in the transition (G1: 1330 and G2: 4249 kg DM ha<sup>-1</sup> in sampling 2) and null in the dry season. The animal load varied according to the available biomass (grass+broad leaf), G2 paddocks over all samplings supported between 80 and 449 animal units (UGM), equivalent to 1.9 to 3.1 UGM ha<sup>-1</sup> carrying capacity. Available forage contained 5.2% crude protein, 68.3-70.8% neutral detergent fiber and 38.0-41.7% acid detergent fiber throughout all samplings. The recovery time of pastures ranged between 22 and 98 d in the rainy and 188 up to 270 d in the dry season (after the last performed grazing during the transition). The PRV contributes to maintain carrying capacity > 1 UGM, to use all the biomass available in the pastures, and decrease variation of forage nutritive quality, but with long dry seasons, forage availability has to reside more on forage from reserved paddocks waiting to be grazed when needed.

**Key words:** Voisin rational grazing, forage biomass, carrying capacity, resting time.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la vida por darme tantas cosas buenas.

A los integrantes de mi Consejo Particular, mi consejero el Dr. Ponciano Pérez Hernández, asesor el Dr. Jesús Jarillo Rodríguez por todo su apoyo en el posgrado, así como paciencia para aguantar todos mis errores, y muy en especial a la Dra. Silvia López Ortiz quien siempre confió en mí, aun en momentos tan difíciles, gracias por todo su apoyo doctora, sin su apoyo hubiera sido mucho muy difícil.

A mis amigos del alma, los “PRVS” Iván Azuara Morales y Osmar Espinosa Palomeque, gracias amigos porque siempre estuvieron cuando más los necesité (todos para uno y uno para todos), sin duda alguna los mejores. Gracias hermanos.

A mis amigos y compañeros de generación, a Iván Azuara Morales, Osmar Espinosa Palomeque, Araceli Flores González, Martha Escarlet Beristáin Moreno, José Gonzales Reséndiz, Noemí Villanueva, Emmanuel Garduño y Alejandra Ivonne García Sánchez, gracias por su amistad y por compartir tantos momentos, experiencias y conocimientos. Jamás los olvidaré.

Edgar René Ramírez quien siempre estuvo en la mejor disposición de ayudarme en mi trabajo de campo sin importar las condiciones ni el horario en que se debían hacer las actividades.

A Giancarlo y Jonathan, que formaron parte muy importante en mí trabajo de campo, ya que llegaron en el momento justo, muchas gracias compañeros.

A Ivette Bruno y Nancy Soto por apoyarme siempre que les pedí ayuda, gracias chicas.

A todos y cada uno de los doctores que influyeron en mi formación, en el aula o fuera de ella, muchas gracias por todo.

A mi papá que me apoyó incondicionalmente trabajando todo el día realizando los muestreos, acarreando agua para las vacas, moviendo las vacas de un predio a otro y por prestarme su predio, aun cuando dudaba de los resultados, muchas gracias padre te quiero mucho.

Al Dr. Octavio Ruíz Rosado quien fue el primero en recibirme en el Colegio de Postgraduados Campus Veracruz y abrirme las puertas para trabajar y posteriormente continuar con mi formación.

Al Dr. Gustavo López Romero por permitir formar parte de su maravilloso equipo de trabajo en la Subdirección de Investigación, así como el apoyo y orientación, muchas gracias por todo doctor, mí siempre jefe y sin duda un gran amigo.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo en el análisis de laboratorio de muestras de forraje.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, por abrirme sus puertas y permitirme realizar el postgrado.

Al Consejo Nacional en Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero para poder realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

## DEDICATORIAS

A mis padres y hermana que siempre me han impulsado para seguir adelante, prepararme, aprender y cada día buscar ser mejor persona.

A mi esposa María Eneledi Yepes Morales por estar siempre a mi lado apoyándome e impulsándome para jamás rendirme, te amo. A mi hija Ximena Ainara Castro Yepes quien es el motor más grande que me ayuda a seguir adelante y ahora a mi futuro hijo José Miguel Castro Yepes quien llega para impulsarme aún más, los amo.

A mi familia, este logro también es suyo, sin su apoyo hubiera sido imposible.

## CONTENIDO

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Teoría general de sistemas aplicada a la ganadería .....	4
2.2 Enfoque de agroecosistemas.....	4
2.3 Producción de gramíneas en monocultivo .....	6
2.4 <i>Hyparrhenia rufa</i> (Ness) Stapf .....	8
2.4.1 Productividad.....	9
2.4.2 Calidad nutritiva .....	10
2.5 Ganadería regenerativa .....	11
2.6 Pastoreo Racional Voisin .....	13
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	17
<b>4. OBJETIVO</b> .....	17
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	18
5.1 Ubicación del sitio de estudio.....	18
5.2 Sitio experimental .....	19
5.3 Periodo de estudio .....	20
5.4 Procedimiento experimental.....	20
5.4.1 Preparación del sitio .....	20
5.4.2 Diseño del sistema de pastoreo.....	20
5.5 Implementación del Pastoreo Racional Voisin .....	21
5.6 Variables evaluadas.....	22
5.6.1 Estimación de la biomasa disponible.....	22
5.6.2 Composición química del forraje.....	24
5.6.3 Composición botánica de los potreros.....	25
5.6.4 Carga animal .....	25
5.6.5 Tiempo de recuperación .....	26
5.6.6 Curvas de crecimiento .....	26
5.7 Análisis estadísticos.....	27
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	28

6.1 Biomasa forrajera disponible.....	28
6.2 Composición botánica.....	35
6.3 Carga animal.....	37
6.4 Tiempo de ocupación y recuperación .....	39
6.5 Calidad nutritiva de <i>Hyparrhenia rufa</i> .....	41
6.6 Curvas de crecimiento .....	42
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>9. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Calidad nutritiva de <i>Hyparrhenia rufa</i> bajo pastoreo regenerativo en las épocas de lluvias y transición a seca.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. <i>Hyparrhenia rufa</i> bajo pastoreo regenerativo en época de lluvias 2017. ....	9
Figura 2. Ubicación del área de estudio, en El Limón, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz (Google Earth, 2018).....	18
Figura 3. Sitio experimental, área de <i>Hyparrhenia rufa</i> en monocultivo con pastoreo extensivo. ....	19
Figura 4. Imagen del cerco eléctrico en potreros bajo pastoreo regenerativo. ....	21
Figura 5. Marco de 1 m <sup>2</sup> -utilizado para el muestreo de biomasa. ....	23
Figura 6. Secado de muestras de biomasa en estufa de aire forzado a 60 °C. ....	24
Figura 7. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el primer muestreo, en la época de lluvias 2017. ....	29
Figura 8. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el segundo muestreo, durante la época de transición a seca 2017.....	30
Figura 9. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el tercer muestreo, en la época de lluvias 2018. ....	31
Figura 10. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el cuarto muestreo, en la época de lluvias 2018. ....	32
Figura 11. Producción de biomasa de <i>Hyparrhenia rufa</i> en pastoreo regenerativo.....	33

Figura 12. Composición botánica de la biomasa forrajera durante los cuatro muestreos realizados. ....	36
Figura 13. Carga animal instantánea en los cuatro periodos de ocupación, realizados de julio 2017 a septiembre 2018, en pasturas de <i>Hyparrhenia rufa</i> manejada en pastoreo regenerativo. ....	38
Figura 14. Tiempo de recuperación de <i>Hyparrhenia rufa</i> en los cuatro muestreos realizados. ....	40
Figura 15. Curva de acumulación de biomasa forrajera de <i>Hyparrhenia rufa</i> , manejada en pastoreo regenerativo medida en el periodo de transición a época seca del 11 de septiembre al 6 de noviembre de 2017. ....	43
Figura 16. Curva de acumulación de biomasa forrajera de <i>H. rufa</i> , manejada en pastoreo regenerativo medida en la época de lluvias del 22 de mayo al 19 de junio de 2018. ....	44

## 1. INTRODUCCIÓN

Las gramíneas son la principal fuente de alimentación del ganado en el trópico (Gonzales y Dávalos, 2015). En estas regiones, el ganado se maneja de manera extensiva, derivando una falta de presupuestación de las pasturas y escasez de forraje en la época de estiaje, lo cual es uno de los principales problemas de la ganadería bovina manejada bajo el sistema de gramíneas en monocultivo (SIAP, 2016).

Lo anterior es de suma importancia para el estado de Veracruz, ya que la ganadería es una de sus principales actividades económicas, y ocupa el primer lugar como productor de ganado a nivel nacional, utilizando aproximadamente el 60 % de su territorio para esta actividad (Rubio, 2018). En la zona de sotavento, en donde se localiza el municipio de Paso de Ovejas la época de estiaje es muy marcada (Bautista-Tolentino *et al.*, 2011), por lo cual el abasto de forraje es limitado y como consecuencia los animales consumen un forraje seco, lignificado y de bajo valor nutritivo (energía y proteína) (Canudas *et al.*, 2008).

Bajo el manejo de pastoreo extensivo el ganado muestra un comportamiento de consumo selectivo y se mantiene en los potreros por periodos de tiempo largos dando lugar al sobrepastoreo (Ayala y Bendersky, 2017). Se ha determinado degradación en aproximadamente el 50 % de los suelos usados para la ganadería extensiva, lo cual afecta directamente a la productividad y calidad de los pastos (Del Pozo, 2002).

La región donde se ubica esta investigación se caracteriza por tener largos periodos de estiaje donde las gramíneas más utilizadas son privilegio (*Megathyrsus maximus*

Jacquin), llanero (*Andropogon gayanus* Kunth) y jaragua (*Hyparrhenia rufa* Ness Stapf), por su capacidad para adaptarse a las condiciones locales y regionales, además de ser tolerante a la sequía (Bautista-Tolentino *et al.*, 2011). Sin embargo, por su manejo los rendimientos y calidad nutritiva no son los óptimos, principalmente porque su manejo es extensivo; los tiempos de ocupación y reposo no son los adecuados, y durante el periodo de lluvias se deja crecer el pasto hasta madurar para utilizarse en el periodo de estiaje, aportando una baja calidad nutritiva a los animales (Serrao y Días, 1988).

Los productores pecuarios tienen el compromiso de aportar productos de origen animal para abastecer las necesidades alimenticias de la creciente población humana, por lo cual, es necesario generar nuevas alternativas en el manejo de los sistemas de producción en pastoreo que permitan una elevada producción sin los efectos nocivos en el medio ambiente (González y Dávalos, 2015). Dando lugar al uso de prácticas regenerativas que promueven la viabilidad del pastoreo, como el “rotacional” o “dirigido” debido a su efectividad técnico-económica y medioambiental (Mandaluniz *et al.*, 2015).

El pastoreo regenerativo permite mejorar la productividad del suelo, la disponibilidad de forraje, la captura de carbono mitigando los efectos del cambio climático (Milera, 2011; Cárdenas *et al.*, 2012), por lo cual, se considera un sistema de pastoreo que se basa en armonizar los principios de la fisiología vegetal, las necesidades de los animales, el mejoramiento del suelo a través de procesos bióticos, bajo la intervención antrópica, pero a la vez hace a la actividad ganadera más eficiente y rentable (Rua, 2010).

Por lo cual, el presente estudio se realizó para conocer la productividad y la calidad nutritiva de *H. rufa* manejada en un pastoreo regenerativo, en un clima cálido

subhúmedo, bajo la hipótesis de que el pastoreo regenerativo incrementa la productividad y calidad nutritiva de la *H. rufa*.

En esta investigación se evaluó la disponibilidad de forraje y calidad nutritiva de *H. rufa*. Los resultados aportarán información al vacío del conocimiento científico, y también proporcionarán herramientas para la toma de decisiones en el manejo de agroecosistemas donde se maneja ganado bovino, ya que podrá brindar alternativas de manejo en pastoreo y generar una mejor presupuestación de los forrajes, oferta de forraje con mayor calidad nutritiva y una recuperación paulatina del suelo y la fauna edáfica que resulta en el mejoramiento de la productividad de los agroecosistemas. Todo esto repercutirá directamente en la rentabilidad de los ranchos ganaderos.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Teoría general de sistemas aplicada a la ganadería**

Se denomina “sistema” al conjunto de elementos que se encuentran interactuando entre sí, con un objetivo en común. El biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1976) fue el primero en definir e introducir el enfoque de sistemas y ha sido utilizado para el estudio de sistemas complejos y entender diversos fenómenos y procesos que se dan en la naturaleza, el hombre y su entorno. Los sistemas presentan complejidad cuando existe discrepancia en la respuesta de los elementos, estos sistemas son definidos como sistemas abiertos y se caracterizan por presentar interacciones bióticas y abióticas, así como relaciones de intercambio con el medio ambiente a través de entradas y salidas (Quiroz, 2017).

La ganadería como actividad económica puede ser analizada bajo el enfoque de sistemas, estudiando sus componentes, entradas y salidas, así como su funcionamiento en relación a un sistema de conciencia que es el ganadero o el grupo de personas que toman decisiones (Casanova-Pérez *et al.*, 2015). Para entender el funcionamiento de un sistema como un “todo” es necesario el estudio de cada una de sus partes (componentes) y sus interacciones.

### **2.2 Enfoque de agroecosistemas**

Un agroecosistema (AES) es un modelo abstracto de la realidad, en el cual el investigador define los límites (entradas, componentes y salidas), y tiene como principal objetivo generar bienes y alimentos para la humanidad. Ruiz (1995) por su parte define

al agroecosistema como la unidad de estudio donde se desarrolla la actividad agrícola, pecuaria, acuícola y forestal ya sea de manera independiente o en combinación, donde intervienen factores económicos, sociales y ecológicos para la obtención de alimentos y otros satisfactores que la sociedad demanda a través del tiempo. Por su parte, Hart (1985) definió al agroecosistema como una unidad biótica donde interactúan por lo menos un cultivo y el medio físico, donde se regulan las entradas (energía y materiales), las cuales producen salidas (biomasa) y menciona que el agroecosistema puede ser subdividido en subsistemas (suelo, cultivos, plagas, enfermedades y maleza).

La ganadería puede ser vista desde este contexto, ya que depende de entradas como lo es la compra de alimentos, fármacos y diversos productos preventivos y correctivos. Componentes como el hato ganadero, manejo del mismo y la biomasa producida y finalmente las salidas, que son la leche, carne y generación de conocimientos entre otros (Martínez *et al.*, 2004), todo esto dirigido por el sistema de conciencia.

En la actualidad existe una creciente demanda en la producción de alimentos, por ello es necesario utilizar el enfoque de agroecosistemas como un método que permita eficientizar los recursos naturales, humanos y económicos de manera sustentable. Los sistemas ganaderos han sido estudiados por diversos autores desde distintas concepciones, bajo el concepto de agroecosistemas, con la finalidad de diseñarlos y mejorarlos para aumentar la productividad y calidad de los sistemas, así como de quien toma las decisiones (Purroy-Vázquez *et al.*, 2016).

Los procesos que lleva a cabo el hombre para la transformación de alimentos tienen un valor ecológico, biológico y estético, pero además social y económico. Por ello es necesario generar conocimiento basado en los principios ecológicos, con la finalidad de estudiar, diseñar y manejar los agroecosistemas para que sean productivos y a su vez amigables con el medio ambiente, sin dejar de ser económicamente viables (Altieri, 1999).

Es necesario comprender las dimensiones ecológica, ambiental, social, económica y cultural, desde las que se pueden abordar los agroecosistemas, manteniendo presente los procesos internos (acciones del productor, manejo, etc.) y los procesos externos (mercado, demanda, etc.) que puedan influir para su transformación (Hernández, 1997).

Entonces podemos entender al agroecosistema como un área de estudio definida por el investigador, donde el tomador de decisiones modifica las interacciones que ahí suceden, las cuales están directamente relacionadas con ámbitos económicos, productivos, sociales, ecológicos, políticos y culturales. Estas interacciones tienen como objetivo principal la producción de alimentos basados en la agricultura o la ganadería y es en esta última donde el tomador de decisiones muestra interés por la producción de biomasa vegetal para la alimentación del hato ganadero.

### **2.3 Producción de gramíneas en monocultivo**

El monocultivo de gramíneas es un sistema de uso del suelo utilizado en el trópico para la alimentación del ganado en pastoreo o conservado para la época de estiaje, se

utiliza en la mayor parte del territorio destinado al pastoreo extensivo, por lo que trae consigo afectaciones como la limitada adaptabilidad sobre los distintos tipos de suelos y ambientes, un solo tipo de desarrollo vegetativo a través de las épocas, restricción en el consumo de forraje y limitada diversidad de la dieta de los animales en pastoreo, además de que los potreros solo pueden ser pastoreados en el periodo de crecimiento de la planta en el monocultivo (Dávila y Sánchez, 1996; Romeu, 1999). Las pasturas de gramíneas tropicales se caracterizan por tener bajo contenido de proteína cruda y baja digestibilidad (Barahona y Sánchez, 2005). Además, son deficientes en minerales esenciales para el ganado ya que dependen de la interacción de varios factores como el suelo, especie de planta, estado de madurez, rendimiento, clima y manejo de la pastura (González *et al.*, 2017).

A pesar de todas estas desventajas muchas gramíneas se consideran buenas forrajeras por su contenido en nutrientes, palatabilidad y su alta capacidad de regeneración y crecimiento (Dávila y Sánchez, 1996), sin embargo, con un manejo inadecuado, las gramíneas no cuentan con el tiempo para recuperarse después del pastoreo y en muchos casos se van perdiendo las pasturas (Romeu, 1999).

En Veracruz se dedican 1.04 millones de hectáreas al cultivo de pastos (INEGI, 2007), principalmente: Estrella de África (*Cynodon plectostachyus* Vanderyst); Privilegio (*Megathyrsus maximus* Jacquin); Jaragua (*Hyparrhenia rufa*); Pangola (*Digitaria eriantha*); Elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach); Llanero (*Andropogon gayanus* Kunth) y especies del género *Urochloa*, como Señal (*U. decumbens* Stapf) e Insurgente

[*U. brizantha* A. (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster], que sobresalen por su adaptación a diferentes condiciones ambientales y alta productividad (Martínez *et al.*, 2016).

Una desventaja de las gramíneas en ambientes de clima subhúmedo es su producción estacional de biomasa, ya que durante el período poco lluvioso solo alcanzan el 30 % de su rendimiento anual. Este bajo rendimiento es determinado por las altas temperaturas, radiación solar, duración del día y precipitación durante el período referido (Herrera, 2015), y varía dependiendo de la especie y de la época del año, desde 13 000 kg en época de lluvias hasta 2 000 kg MS ha<sup>-1</sup> en época seca (Cab *et al.*, 2008).

#### **2.4 *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf**

*Hyparrhenia rufa* es una gramínea perenne de origen africano (Agreda, 1961), se caracteriza por su crecimiento en macollos y tallos delgados que pueden llegar hasta 2.5 m de altura, con hojas finas de color verde oscuro que alcanzan hasta los 60 cm de largo y de 2 a 8 mm de ancho con puntas rojizas. Posee un sistema radical abundante con ramificaciones y raíces delgadas. Tiene inflorescencia de 30 a 80 cm de largo y su semilla presenta una cubierta algodonosa de color café y una arista delgada y suave del mismo color (Clayton *et al.*, 2016).

*Hyparrhenia rufa* es una especie africana y se ha naturalizado en las regiones tropicales y subtropicales del mundo para mejorar la producción de carne y leche (CABI, 2016), y se considera una especie invasora en México y otros países, se desarrolla en zonas donde la precipitación media anual oscila entre los 600 y 1 400 mm

(FAO, 2011), es tolerante a apocas de estiaje, inundaciones temporales y al fuego (Quattrocchi, 2006; Borja *et al.*, 2017). Es una gramínea que se encuentra en campos abiertos de luz intensa, de fácil propagación y puede desarrollarse en suelos de baja fertilidad, con un alto porcentaje de pedregosidad (Figura 1) (Enríquez *et al.*, 2011; Borja *et al.*, 2017).



Figura 1. *Hyparrhenia rufa* bajo pastoreo regenerativo en época de lluvias 2017.

#### **2.4.1 Productividad**

La productividad en términos forrajeros es la cantidad de biomasa producida durante un periodo de tiempo determinado y en un área específica, por ello la productividad de una especie forrajera puede ser evaluada en el transcurso de un año y la producción que

presente a lo largo del año será la productividad de esa área (Venecano *et al.*, 2006). La productividad está determinada en gran parte por la precipitación pluvial, nutrientes del suelo, energía solar y manejo de las praderas (Del Pozo, 2002). La estacionalidad en la precipitación disminuye la producción de forraje y repercute en la producción de leche y carne, e inclusive, en ocasiones causa hasta la muerte de algunos animales, con la consecuente pérdida económica para los productores (López *et al.*, 2011).

El rendimiento representa el parámetro más importante a considerar en la primera fase productiva de un sistema ganadero. El porcentaje de materia seca depende del estado fenológico de las plantas, condiciones ambientales y procesamiento o conservación del forraje (Morillo, 1994). Se ha reportado que la producción de *H. rufa* oscila entre los 4.5 y 19 t MS ha<sup>-1</sup> (FAO, 2011). Las características que poseen las gramíneas (C<sub>4</sub>) tropicales, les permiten adaptación y potencialidades de hasta 85 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y valores de digestibilidad que pueden llegar a ser óptimo en dependencia de la especie y las condiciones ambientales (Del Pozo, 2002).

#### **2.4.2 Calidad nutritiva**

La calidad nutrimental de las gramíneas es de suma importancia para aumentar la producción de los hatos, su calidad de vida y poder desarrollarse y reproducirse de manera correcta y sana. Se busca que las gramíneas cuenten con un conjunto de propiedades, los cuales puedan brindar el mayor número de nutrientes en su composición química y que a su vez tenga mayor digestibilidad para que puedan ser aprovechado por el ganado (Gargano *et al.*, 2007).

*Hyparrhenia rufa* puede contener entre el 3 y 15 % de proteína cruda, valor que depende de la época del año y la parte del pasto analizado (Daubenmire *et al.*, 1972; González *et al.*, 2017), sin embargo, se han reportado porcentajes de proteína cruda de hasta 7.4 % en sistemas silvopastoriles (Quiroz, 2017). De Gante (2018) reportó que la proteína cruda (PC) de *H. rufa* osciló entre 7.8 y 10.1 % a través del año en distintas condiciones (a pleno sol y bajo sombra).

El ganado bovino prefiere consumir la parte tierna en la época de lluvias más que en la época seca (Nascimento *et al.*, 1995), y en la época seca la ingesta puede representar hasta el 30 % con menos del 2 % de proteína (Abaunza *et al.*, 1991).

## **2.5 Ganadería regenerativa**

La ganadería regenerativa es una práctica holística de manejo de la tierra que se enfoca al mejoramiento del suelo, sin perder de vista las necesidades del ganado y el incremento en el rendimiento del pasto (Carrera *et al.*, 2014). Potencializa el proceso fotosintético en las plantas forrajeras para un mejor desarrollo y en consecuencia, para mayor producción de forraje. La agricultura regenerativa mejora la salud del suelo principalmente por incrementar el contenido de materia orgánica, lo cual es benéfico para los organismos que permanecen arriba pastando, y promueve la vida bajo el suelo y a su vez captura grandes cantidades de carbono que tanto afecta al planeta (Suárez, 2017).

Se ha demostrado que este sistema es más eficiente porque al mejorar la calidad del suelo, se mejora la calidad del forraje y como consecuencia aumenta la ganancia de

peso de los animales, superando la productividad de los sistemas de pastoreo tradicional y continuo (Feria *et al.*, 2002; Benítez *et al.*, 2007) tanto en la época de lluvias como en la época de estiaje.

La ganadería regenerativa promueve la diversidad y la recuperación de pastizales en estado de degradación a causa de la producción de forraje en monocultivos, lo cual repercute en una baja productividad por unidad de superficie (Martínez-Méndez *et al.*, 2016). El aporte de diversas especies a la producción total es un parámetro del pastoreo regenerativo que permite visualizar la calidad de la pastura a través del año, la evolución de esta a través del tiempo y los cambios generados por el manejo y nutrición de las plantas (Demanet, 2012), ya que para que se logre alcanzar la recuperación o rehabilitación de un pastizal a su capacidad productiva por unidad de área y por animal, hasta alcanzar niveles ecológicos y económicos aceptables, se debe estimular la presencia de una o más especies forrajeras deseables, que son susceptibles de ser conservadas (Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

Este tipo de ganadería es la base del Pastoreo Racional Voisin (PRV), el cual además de tomar en cuenta las necesidades del pasto, toma en cuenta el desempeño animal y los beneficios al suelo, para lograr un mayor equilibrio entre productividad y economía, sin dejar de lado los aspectos económicos y ambientales que están implicados en la producción ganadera.

## 2.6 Pastoreo Racional Voisin

El PRV es una alternativa de pastoreo regenerativo que permite incrementar la producción de forraje, su calidad nutritiva, recuperación de las plantas, controlar la oferta y evita la selección de los animales. Las ideas principales del pastoreo racional a menudo se sintetizan en la frase: “mayor carga animal sobre el menor espacio y en el menor tiempo posible” (Pinheiro, 2015), y significa que al concentrar alta carga animal en espacios pequeños se hace un mejor pastoreo y una mejor fertilización por la deposición de orina y heces, además mayor fijación de carbono. Todos estos efectos benéficos se consiguen ajustando las cargas de animales, el tiempo de ocupación y el tiempo de reposo de la vegetación (Zananioni, 2010).

El PRV intensifica la producción de carne, leche o ambos y se guía en el desarrollo fisiológico de los pastos (Duarte *et al.*, 2010), fue ideado por el químico francés André Voisin quien abordó temas de productividad y dinámica de crecimiento de los pastos (Bruch, 2010). Se basa principalmente en la optimización y utilización de los recursos obtenidos por la fotosíntesis por medio de tiempos de reposo y ocupación de los pastos, preservando el ambiente pastoril y promoviendo la convivencia de organismos de todas las especies. Por medio de la división de grandes áreas en potreros pequeños, utilizando cerco eléctrico y una red hidráulica eficiente para suministrar el agua a los animales (Bruch, 2010). Posibilita el equilibrio entre suelo- planta- animal y cada elemento tiene un efecto positivo sobre los otros dos, dejando de ver al ganado como un depredador y se le ve como un beneficiario del sistema (Duarte *et al.*, 2010).

Según Voisin, el pastoreo es un sistema racional que debe ser conducido con flexibilidad (Milera y Martínez, 1996).

Para poder implementar este sistema de manera correcta, André Voisin estableció las cuatro leyes que se consideran universales, que deben regir todo el pastoreo racional, cualesquiera que sean las condiciones del suelo, el clima, la altitud y longitud. Las dos primeras leyes se refieren a las exigencias del pasto y las dos últimas a la de los animales (Duarte *et al.*, 2010), las cuales se describen a continuación (Voisin, 1971):

**1) La ley de los pastos: la ley del reposo:** "Para que un pasto cortado por el diente del animal pueda dar su máxima productividad, es necesario que entre dos cortes sucesivos haya pasado un tiempo suficiente que permita al pasto": a) Almacenar en sus raíces las reservas necesarias para un comienzo de rebrote vigoroso, y b) Realizar su "labor de crecimiento" (o gran producción diaria por hectárea).

**2) La ley de los pastos: la ley de la ocupación:** El tiempo global de ocupación de una parcela debe ser lo suficientemente corto, para que una planta cortada en el primer día del tiempo de ocupación no sea cortada nuevamente por el diente del animal. Esta segunda ley se fundamenta en los daños que los animales que se pastorean pueden causar a los delicados tejidos de los puntos de crecimiento de una planta que se extiende, por el pisoteo o por el recorte de la porción aérea que rebrote (Sorio, 2008).

**3) Tercera ley de los animales: la ley de la ayuda:** "Hay que priorizar a los animales que posean las exigencias alimentarias más elevadas a recoger más cantidad de

pasto, y de la mejor calidad posible". Cuanto menor trabajo de pastoreo se imponga al animal, más pasto será capaz de cosechar (Sorio, 2008; Duarte *et al.*, 2010).

**4) Cuarta ley de los animales: la ley de los rendimientos regulares:** "Para que la vaca produzca los rendimientos regulares a través del tiempo, no debe permanecer más de 3 días sobre una misma pastura. Los rendimientos a través del tiempo serán máximos y estables si el animal no permanece más de este tiempo en la misma parcela.

Conforme a Voisin (1981), las dos primeras leyes se pueden resumir en una sola frase: Del mismo modo que existe un momento en que el pasto está en el punto para ser cortado por la lámina de la cosechadora, existe también un momento en que el pasto está en el punto para ser cortado por el diente del animal (Duarte *et al.*, 2010).

Los potreros manejados con PRV pueden aumentar la producción de forraje de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup>, y la calidad del pasto al ser cosechado en su punto óptimo, aumenta la producción de leche hasta 1 000 L por vaca<sup>-1</sup> lactancia<sup>-1</sup>, y se mantiene estable la productividad del forraje a través de las distintas épocas del año (Rua, 2010). Mientras que usando el pastoreo extensivo el porcentaje de vacas productivas se puede mantener a través de los años, con el uso del PRV puede aumentar más del 12 % en un periodo de 4 años y el costo de producción por litro de leche disminuir hasta un 50 %. Los costos de producción con este tipo de pastoreo disminuyen a pesar del aumento en el precio de los insumos utilizados en la actividad ganadera, ya que en PRV se utiliza el pasto como base para la alimentación y la necesidad de insumos

disminuye gradualmente, a diferencia de otros sistemas con alto ingreso de insumos externos (Duarte *et al.*, 2010).

En pastizales degradados la cobertura de las especies de hojas anchas y gramíneas con valor de importancia puede llegar hasta el 43 % (Martínez-Méndez *et al.*, 2016). Implementado el PRV, el cambio en la diversidad de especies forrajeras se puede ver desde el primer año, y después de varios años de uso del sistema las poblaciones de aves y fauna puede cambiar y diversificarse, la estructura de la vegetación y su diversidad se maximiza y los productores pueden convertirse en “multiplicadores” del conocimiento (De Francesco, 2006). El uso del PRV garantiza continuidad en la actividad ganadera y sustentabilidad para las generaciones futuras (Duarte *et al.*, 2010).

El presente trabajo de investigación evaluó el comportamiento de la disponibilidad de forraje y calidad nutritiva en temporada de estiaje a nivel regional, aportando información al vacío del conocimiento científico, así como proporcionar herramientas para la toma de decisiones en el manejo de los agroecosistemas, ya que podrá brindar alternativas de manejo en el pastoreo para la ganadería bovina generando una mejor presupuestación de los forrajes, así como su calidad y una recuperación paulatina del suelo, microfauna y por ende mejorando su productividad, lo cual repercutirá directamente en la rentabilidad de los ranchos ganaderos.

### **3. HIPÓTESIS**

El pastoreo regenerativo incrementa la productividad, disponibilidad y calidad nutritiva de *Hyparrhenia rufa* a través del año.

### **4. OBJETIVO**

Estimar la cantidad y calidad de biomasa forrajera disponible de *Hyparrhenia rufa* producida a través del año bajo pastoreo regenerativo.

Mantener la carga animal en potreros con *Hyparrhenia rufa* arriba de 1 UGM.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación del sitio de estudio

Esta investigación se realizó en la comunidad El Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, ubicado en las coordenadas 96° 29' y 96 ° 30' Longitud O, 19° 14' y 19° 14' Latitud N, a 167 msnm (Figura 2). La topografía predominante en el municipio es de lomeríos, con laderas de poca pendiente y pequeños valles. Los tipos de suelos predominantes en la región son arcilla (molisol o vertisol), tierra amarilla (entisoles), cascajillo (inceptisoles) y arenosa, poco profundos, pedregosos y con bajo contenido de materia orgánica. El municipio está situado dentro del ecosistema selva baja caducifolia (López, 2008). El clima en la región es de tipo  $Aw''_0(w)(i')g$ , que representa el más seco de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano y con precipitación pluvial media anual no mayor a los 1 000 mm (García, 2004).



Figura 2. Ubicación del área de estudio, en El Limón, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz (Google Earth, 2018).

## 5.2 Sitio experimental

Se delimitó una superficie de 1 ha como área experimental, dentro de un sitio de 12 ha recubierto de *H. rufa* en monocultivo, dedicado al pastoreo extensivo de ganado bovino (Figura 3). El terreno presenta una pendiente baja y un contenido de materia orgánica bajo, así como un alto contenido de pedregosidad. El área delimitada para la investigación se ubicó en la parte más baja del sitio, donde la pendiente era menor a 1 %, había arvenses asociadas (herbáceas, arbustos) a las pasturas y algunos árboles de *Bursera simaruba*, *Diphysa minutifolia* y *Lysiloma acapulcense*. La vegetación asociada formaba espacios dominados por otras plantas o con sombra donde la distribución del pasto no era uniforme.



Figura 3. Sitio experimental, área de *Hyparrhenia rufa* en monocultivo con pastoreo extensivo.

### **5.3 Periodo de estudio**

La investigación tuvo una duración de 16 meses, inició en mayo de 2017 y finalizó en septiembre de 2018; durante este periodo se realizaron cuatro muestreos que corresponden a las tres épocas del año: lluvia, transición a seca y seca. El primer muestreo se hizo en la época de lluvias (julio 24 a agosto 21 2017, verano), el segundo en la época de transición a seca (septiembre 25 a noviembre 15 2017, otoño), el tercero en la época de lluvias (junio 23 a julio 28 2018, verano), y el cuarto al final de la época de lluvias (del 6 al 15 de septiembre de 2018, verano).

### **5.4 Procedimiento experimental**

#### **5.4.1 Preparación del sitio**

Antes de iniciar el estudio se realizó una poda a los árboles que interferían la línea donde se colocaría el cerco eléctrico y también de los árboles que generaban mucha sombra en el potrero. Una vez iniciado el estudio, entre el 22 y 25 de noviembre de 2017 (época de transición a seca) se realizó un control manual y recolección de arvenses.

#### **5.4.2 Diseño del sistema de pastoreo**

El diseño del PRV consistió en: a) realizar los cálculos para definir el número de potreros, así como el área y las dimensiones de los mismos, y b) la delimitación y establecimiento de los potreros con cerco eléctrico. Con base en datos de la productividad de *H. rufa* obtenidos en estudios anteriores (De Gante, 2018), se hicieron

los cálculos para determinar el área de los potreros. La biomasa que se estimó como potencial disponible ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) se dividió por 15 kg de MS, que es el 3 % del peso vivo que consume un animal adulto (NRC, 2001), o una UGM (un animal de 500 kg de PV) (Pinheiro, 2009).

Se determinó establecer 16 potreros de 25 x 25 m con un área total de 625 m<sup>2</sup> cada uno, para una carga animal instantánea de 81.5 UGM ha<sup>-1</sup>. Los potreros se dispusieron en hileras paralelas (8 potreros en cada hilera) delimitadas con cerco eléctrico (Figura 4). Se instaló una cerca perimetral como callejón para facilitar la movilización de los animales de un potrero a otro.



Figura 4. Imagen del cerco eléctrico en potreros bajo pastoreo regenerativo.

### **5.5 Implementación del Pastoreo Racional Voisin**

El pastoreo se realizó con ganado bovino cuando el pasto estaba en su punto óptimo de reposo, siendo algunos indicadores los primeros indicios de floración, la curvatura

de las primeras hojas o la senescencia de las hojas basales. Esto resultó en que el momento de ocupación de cada uno de los 16 potreros fuera aleatorio y no secuencial, sin embargo, siempre sucedió que todos los potreros fueron ocupados en cada época (muestreos). Los tiempos de ocupación variaron por efecto del número de animales disponibles para pastar y/o disponibilidad de materia seca disponible. En el primer muestreo el tiempo de ocupación en promedio fue de 32 h (rango de 13 a 70 h); el segundo de 34 h (rango de 6 a 60 h), y el tercero de 13 h (rango de 6 a 22 h). Después del cuarto muestreo ya no se realizó el pastoreo porque el estudio se dio por terminado.

## **5.6 Variables evaluadas**

### **5.6.1 Estimación de la biomasa disponible**

Se realizó un muestreo del forraje en cada potrero para estimar la producción de biomasa, utilizando el método directo, con un marco de 1 m<sup>2</sup> (Bruno *et al.*, 1995). Para elegir los puntos donde se debía colocar el marco, se visualizó al potrero de 25 x 25 como una cuadrícula y se realizó un sorteo con papeles enumerados del 1 al 25, dentro de una bolsa y se elegían dos papeles por punto, por ejemplo, si los papeles elegidos eran el 10 y 15, se medían 10 m de una esquina del potrero y 15 de la contra esquina del potrero y en donde se encontraban los punto se colocaba el cuadro. Esto se hizo cinco veces por potrero para determinar los cinco puntos de muestreo.

Una vez colocado el marco, se cortó con tijeras de podar o una hoz todo el forraje presente dentro del marco a 5 cm de altura (Figura 5). Las muestras se colocaron en bolsas de papel etiquetadas y se pesaron inmediatamente, después se separaron las

herbáceas de hoja ancha de la gramínea (*H. rufa*), para conocer la composición botánica en cada uno de los potreros. Las muestras se trasladaron al laboratorio, y se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta alcanzar un peso constante (aproximadamente 48 h), se pesaron y se calculó la materia seca (MS) (Figura 6).

Después del muestreo de la biomasa en cada potrero se introdujeron los bovinos para que consumieran la biomasa forrajera presente en cada uno de los potreros, variando en el número de UGM por potrero. El pastoreo se visualizó que fuera a fondo, es decir, que se consumiera toda la biomasa, sin embargo, el ganado siempre dejó un remanente entre 5 y 10 cm.



Figura 5. Marco de 1 m<sup>2</sup> utilizado para el muestreo de biomasa.

Para determinar el punto óptimo de reposo y poder iniciar cada muestreo de la biomasa, se monitorearon los potreros constantemente para revisar el crecimiento de las gramíneas, arvenses y herbáceas y determinar su punto óptimo, utilizando como

indicadores la curvatura de las primeras hojas o la senescencia de las hojas basales del pasto, así como los primeros indicios de floración del mismo. En potreros donde dominaban las arvenses, se determinó el punto óptimo de reposo cuando este grupo inició la floración.



Figura 6. Secado de muestras de biomasa en estufa de aire forzado a 60 °C.

### **5.6.2 Composición química del forraje**

La composición químico-nutricional de la gramínea se determinó analizando las muestras de forraje de los tres potreros con mayor cobertura de gramíneas más homogénea en las épocas de lluvias y transición a seca. Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de forrajes del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de La Facultad de Medicina Veterinaria y

Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Se determinó proteína cruda (PC, %) por medio de la técnica de macro-Kjeldahl (AOAC 1980), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA) y lignina por el método de Van Soest (1994).

### **5.6.3 Composición botánica de los potreros**

La composición botánica del forraje se determinó en todos los muestreos cuantificando por separado el peso de la biomasa de gramínea y de hoja ancha presentes en el marco de 1 m<sup>2</sup>. Después de secar la biomasa, mediante una regla de tres se determinó el porcentaje de cada grupo, con base en el peso obtenido. En el tercer muestreo también se estimó la composición del grupo de hoja ancha por especies: *Lagacea mollis*, *Randia laetevirens*, *Croton miradorensis* y un cuarto grupo que se nombró como “otras” y que incluyó especies poco abundantes.

### **5.6.4 Carga animal**

La carga animal se estimó en unidades de ganado mayor (UGM), que es el equivalente a un bovino de 500 kg de peso vivo (Diario Oficial de la Federación, 2018) y considerando que una UGM consume el 3 % de su peso vivo (NRC, 2001), se realizó el cálculo con base a la cantidad de biomasa disponible de cada potrero después de cada muestreo.

### **5.6.5 Tiempo de recuperación**

Para obtener los tiempos de recuperación de cada potrero, se contabilizó los días transcurridos entre un periodo de ocupación y el siguiente. Una vez terminado el pastoreo en cada potrero se sacaron las vacas y se anotó el día y la hora de salida. Cada potrero se monitoreó frecuentemente hasta que las primeras hojas empezaron a curvarse o se observaron los primeros indicios de floración, indicativo de que la pastura estaba en su punto óptimo de reposo y listo para un nuevo pastoreo.

### **5.6.6 Curvas de crecimiento**

Se eligieron dos potreros (6 y 8) que tuvieron mayor cobertura de gramíneas para realizar las curvas de crecimiento en las épocas de lluvias y transición a seca. La toma de muestras para las curvas se llevó a cabo con la misma metodología utilizada para la toma de muestras de productividad. En cada potrero se tomaron cinco puntos aleatorios para determinar la biomasa disponible dentro de un marco de 1 m<sup>2</sup>, se cortó la biomasa forrajera presente y se separó la biomasa de la gramínea y de hoja ancha. Las muestras se pesaron y después se pusieron a secar en la estufa de aire forzado durante 48 horas hasta alcanzar peso constante. Se obtuvo el peso de la materia seca y se calculó la acumulación de biomasa y el crecimiento del pasto. La curva de crecimiento en la época de transición a seca se realizó en el periodo de septiembre 11 a noviembre 6 de 2017 y las muestras se tomaron en intervalo de 14 días entre muestreos; mientras que la época de lluvias comprendió de mayo 22 a junio 19 de 2018, y los muestreos se realizaron en intervalo de 7 días entre muestreos.

## **5.7 Análisis estadísticos**

Los datos obtenidos de la biomasa y composición botánica se analizaron con estadística descriptiva, usando medias y medidas de tendencia central. Para establecer posible similitudes de la producción de biomasa entre los potreros, se utilizaron los datos de biomasa y de la composición botánica (gramínea y hoja ancha) y se realizaron análisis cluster en cada muestreo, utilizando el índice de similitud de Bray Curtis; estos análisis se realizaron con el programa estadístico R Studio versión 3.4.3. 3 (RStudio, 2014). La estimación de carga animal medida en UGM a través de los periodos de muestreo se analizó con estadística descriptiva, al igual que los tiempos de ocupación y recuperación.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Biomasa forrajera disponible

La biomasa forrajera disponible fue variable entre los potreros y entre los muestreos del mismo potrero, por lo cual se realizó un análisis clusters para agrupar a los potreros con base en su producción forrajera y su composición botánica (Figura 7). En el primer muestreo (lluvias) se generaron dos grupos de los 16 potreros construidos; el primero estuvo integrado por los potreros 9 y 7, con una producción mínima de 1 022 kg MS ha<sup>-1</sup> y máxima de 1 394 kg MS ha<sup>-1</sup>, estos potreros tenían la mayor cobertura de especies de hoja ancha. El segundo grupo estuvo formado por los 14 potreros restantes, donde los potreros 4 y 10 tuvieron la mayor producción de forraje (4 734 kg MS y 4 364 kg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente) y mayor cobertura de gramíneas; en los 12 potreros restantes la producción de biomasa y presencia de la gramínea fue similar, con una producción mínima de 1 893 kg MS ha<sup>-1</sup> y máxima de 3 648 kg MS ha<sup>-1</sup> (Figura 7).

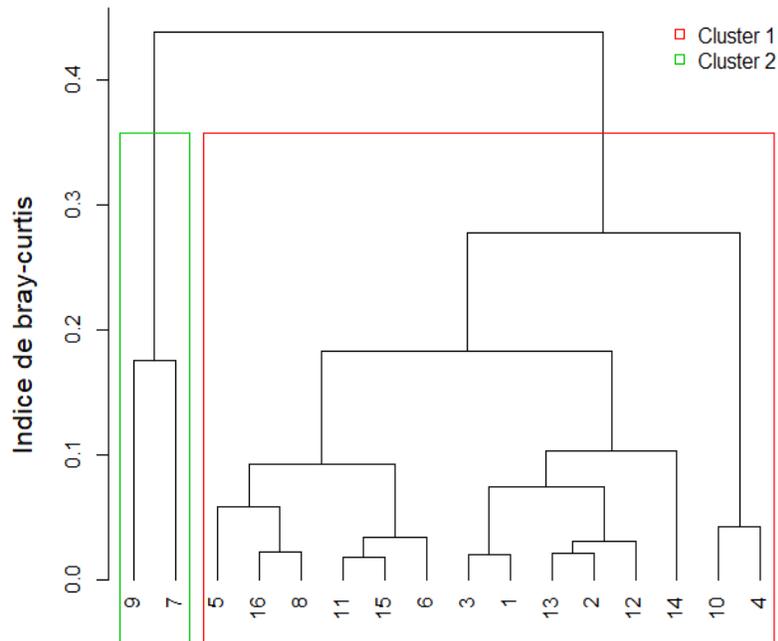


Figura 7. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el primer muestreo, en la época de lluvias 2017.

En el segundo muestreo también se formaron dos grandes grupos (Figura 8), el primero integrado por los potreros 1, 7 y 9, que presentaron mayor número de especies de hoja ancha, y una producción mínima de 424 kg MS ha<sup>-1</sup> y máxima de 1 214 kg MS ha<sup>-1</sup>; en el segundo grupo estuvieron los 13 potreros restantes, con similar producción de biomasa y composición botánica; y donde el potrero 3 tuvo la menor producción de forraje (1 309 kg MS ha<sup>-1</sup>), y el potrero 4 con mayor presencia de gramínea y producción de forraje (6 577 kg MS ha<sup>-1</sup>). El potrero 3 se incluyó en este grupo, a pesar de su baja producción porque su composición de plantas de hoja ancha era baja, sin embargo, fue poco productivo porque tenía demasiada sombra y poca cobertura vegetal.

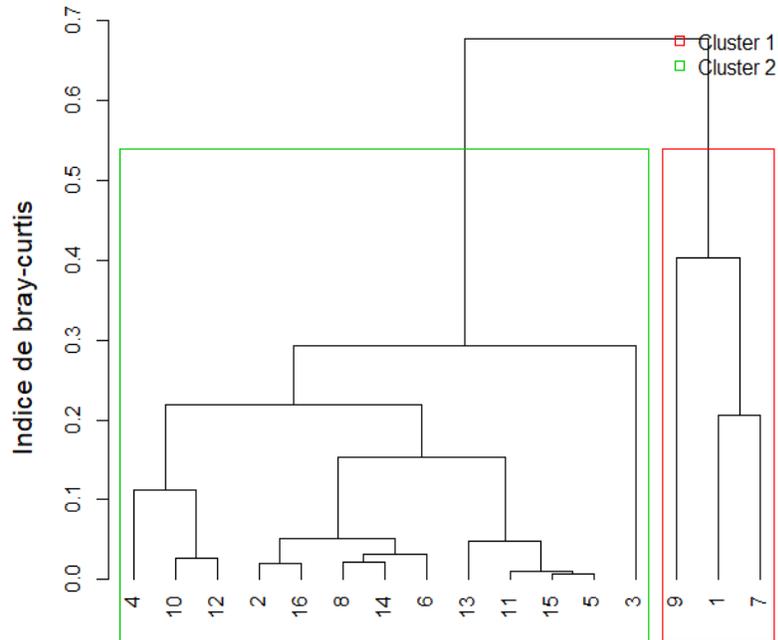


Figura 8. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el segundo muestreo, durante la época de transición a seca 2017.

El análisis cluster del tercer muestreo agrupó a los potreros en dos grupos, el primero incluyó los potreros 1, 5 y 7, que tuvieron mayor cobertura de especies de hoja ancha y menor producción de biomasa ( $393$  a  $790$  kg MS  $ha^{-1}$ ), mientras que los del segundo grupo tuvo una producción de  $1\ 188$  a  $3\ 985$  kg MS  $ha^{-1}$ , y resaltando el potrero 4 con mayor producción de biomasa (Figura 9).

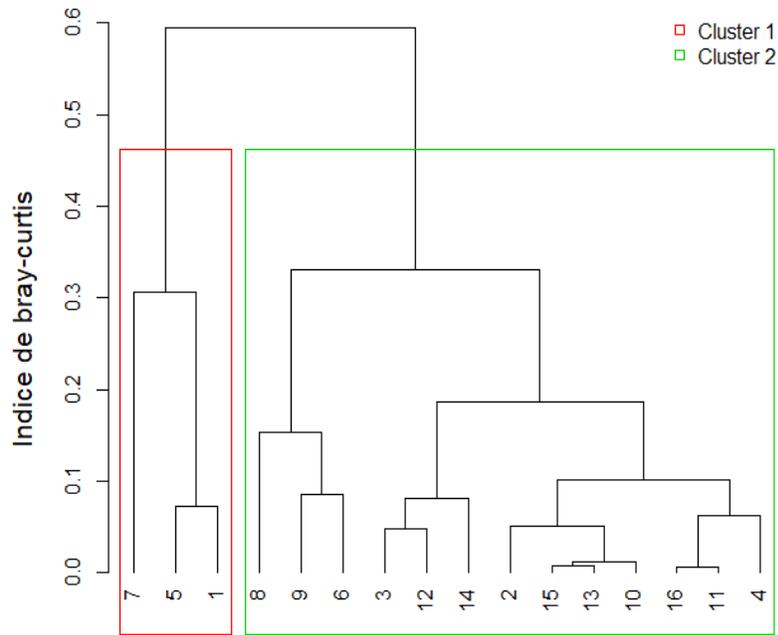


Figura 9. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el tercer muestreo, en la época de lluvias 2018.

El análisis cluster del cuarto muestreo presentó dos agrupaciones similares a las anteriores (Figura 10), en el primero se agruparon los potreros 7 y 9, con mayor presencia de especies de hoja ancha y menor producción de biomasa forrajera, con una producción mínima de 87.6 kg MS ha<sup>-1</sup> y una máxima de 294.1 kg MS ha<sup>-1</sup>, mientras que en el segundo grupo con mayor presencia de gramínea y donde la producción mínima fue de 2 285.5 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 5 y una máxima de 4 345.5 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 12.

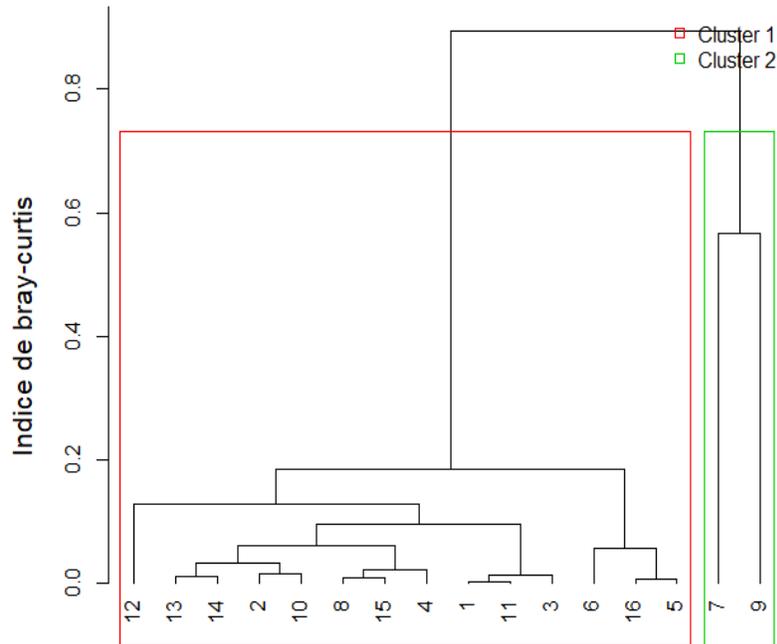


Figura 10. Similitud de los potreros basada en la biomasa total y composición botánica evaluada en el cuarto muestreo, en la época de lluvias 2018.

Los potreros manejados con el sistema de pastoreo regenerativo, en el primer muestreo tuvieron en promedio una producción de biomasa de 3 157.4 kg MS ha<sup>-1</sup>, con una mínima de 2 082.8 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 9 y una máxima de 5 153.0 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 4. En el segundo muestreo el promedio de producción fue de 3 701.7 kg MS ha<sup>-1</sup>, con mínima de 930.4 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 7 y máxima de 5 458.6 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 10. En el tercer muestreo el promedio fue 2 422.7 kg MS ha<sup>-1</sup>, con mínima de 723.1 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 5 y una máxima de 4 027.8 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 4. Para el cuarto y último muestreo en promedio la producción de biomasa total fue 2 988.9 kg MS ha<sup>-1</sup>, con una mínima de 271.7 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 9 y una máxima de 4 364.7 kg MS ha<sup>-1</sup> en el potrero 12 (Figura 11).

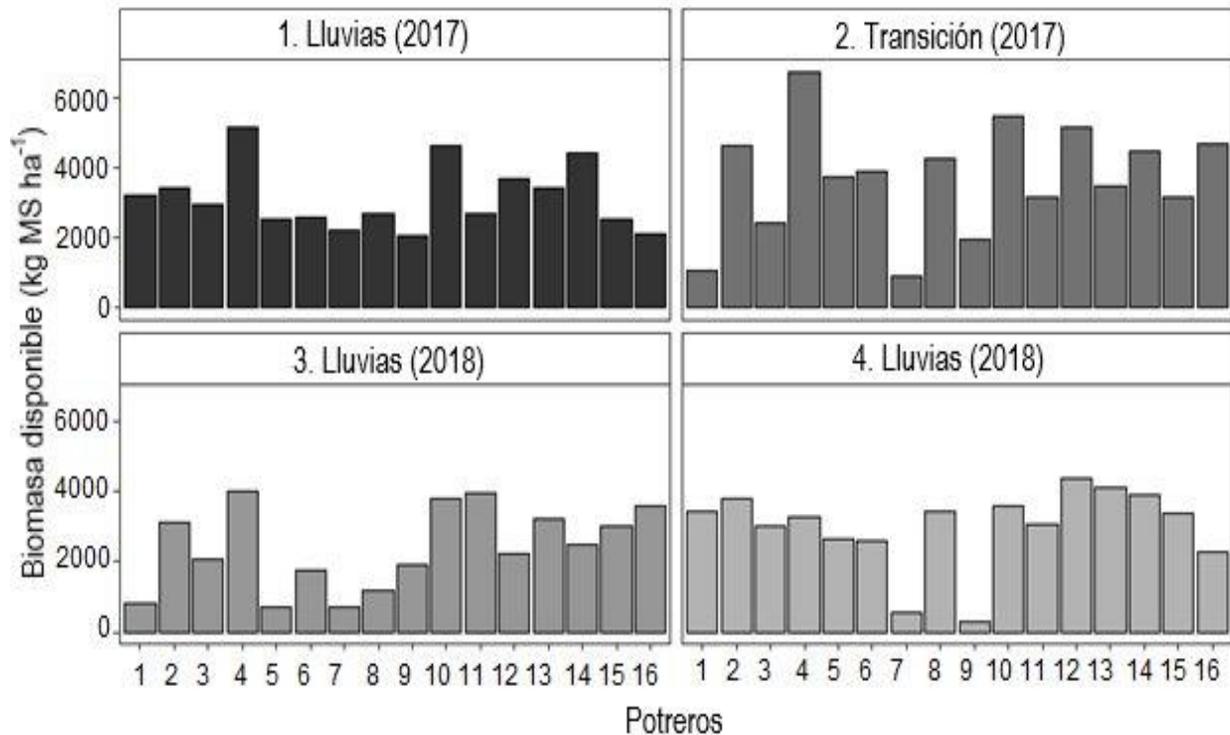


Figura 11. Producción de biomasa de *Hyparrhenia rufa* en pastoreo regenerativo.

La producción más alta de biomasa ocurrió en la época de transición a seca (nortes), seguida de la época de lluvias 2017, en esta última la disponibilidad de forraje todavía era resultado del manejo anterior (extensivo) dado por el dueño del sitio, y no al PRV. En esta evaluación, las plantas habían sobrepasado algunos días su punto óptimo de reposo y se encontraban en plena floración, por lo cual, la cantidad de biomasa disponible superó la cantidad de biomasa en las siguientes épocas de la evaluación. Lo anterior, ocasionó que un año después de implementado el pastoreo racional, la biomasa producida en cada potrero tendió a disminuir con respecto a la primera evaluación realizada en la época de lluvias. Esta disminución, puede ser debido al uso del PRV, ya que en algunas ocasiones la productividad y otros parámetros pueden disminuir en lo que se establece completa y adecuadamente el manejo del pastoreo, debido a la falta de espacio, falta de animales, al ambiente y el clima (Rua, 2010). Los

resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Benítez *et al.* (2007), quienes obtuvieron un rendimiento de 3.0 a 3.5 t ha<sup>-1</sup> en la época de lluvias, utilizando pastos como *Brachiaria humidicola* y *Panicum maximum*. A su vez, Lara y Ortega (1998), reportaron que el rendimiento de *H. rufa* fluctuó a través de las distintas épocas del año, y que la altura de la planta y el rendimiento de MS aumentan en la época de lluvias, desde 0.8 t MS ha<sup>-1</sup> en la época seca a 2.6 t MS ha<sup>-1</sup> en la época de lluvias.

Es necesario considerar que al comenzar a usar tecnologías más adecuadas para favorecer la recuperación de las pasturas, existen respuestas de los potreros producto del manejo recibido en el pasado, es decir, después de la introducción de monocultivos, las praderas se degradan progresivamente por distintos factores relacionados con el manejo de las plantas, el suelo y los animales, y como consecuencia se reduce el rendimiento y la calidad del forraje hasta un 60 %, así como la ganancia de peso diaria de los animales (Rincón, 2006). Existen evidencias de que es posible obtener hasta 7 t MS ha<sup>-1</sup>, con mejor calidad de proteína y digestibilidad durante el período poco lluvioso, mediante el uso de insumos como semillas mejoradas, fertilización y riego (Herrera, 2015), lo que aumenta los costos de los productores. Por lo anterior, se espera que con el tiempo y el adecuado manejo del Pastoreo Racional Voisin, la producción y en general el funcionamiento de los potreros se mejore, tal como se ha observado en otros estudios, que muestran que los pastizales en el trópico no necesariamente se degradan, e incluso aumentan su producción de materia seca al año al utilizar adecuadamente distintas tecnologías de recuperación y renovación, como son el

manejo de distintas especies de plantas para fomentar la biodiversidad del suelo y el manejo del pastoreo (Rincón, 2006).

## **6.2 Composición botánica**

Los potreros evaluados tenían diversas especies herbáceas asociadas en distintos porcentaje de la biomasa total (Figura 12). En el primer muestreo, el 18 % de la biomasa estaba constituida por especies de hoja ancha y 82 % de *H. rufa*, en el segundo muestreo 13 % y 87 %, en el tercero 8 % y 92 %, y en el cuarto 11 % y 89 % de hoja ancha e *H. rufa*, respectivamente (Figura 12). Los potreros 1, 5, 7 y 9 tuvieron mayor porcentaje de especies de hoja ancha, resaltando los potreros 7 y 9 con hasta 75 % en su composición botánica, mientras que el resto de los potreros fueron muy homogéneos con porcentajes de 20 % de especies de hoja ancha y 80 % de gramínea. Lara y Ortega (1998) reportaron que la cobertura de *H. rufa* varía desde 35 % en secas hasta 56 % en época de lluvias, mientras que González *et al.* (2017), mencionan que varía desde 54.8 % en época de seca hasta 78.8 % en época de lluvias.

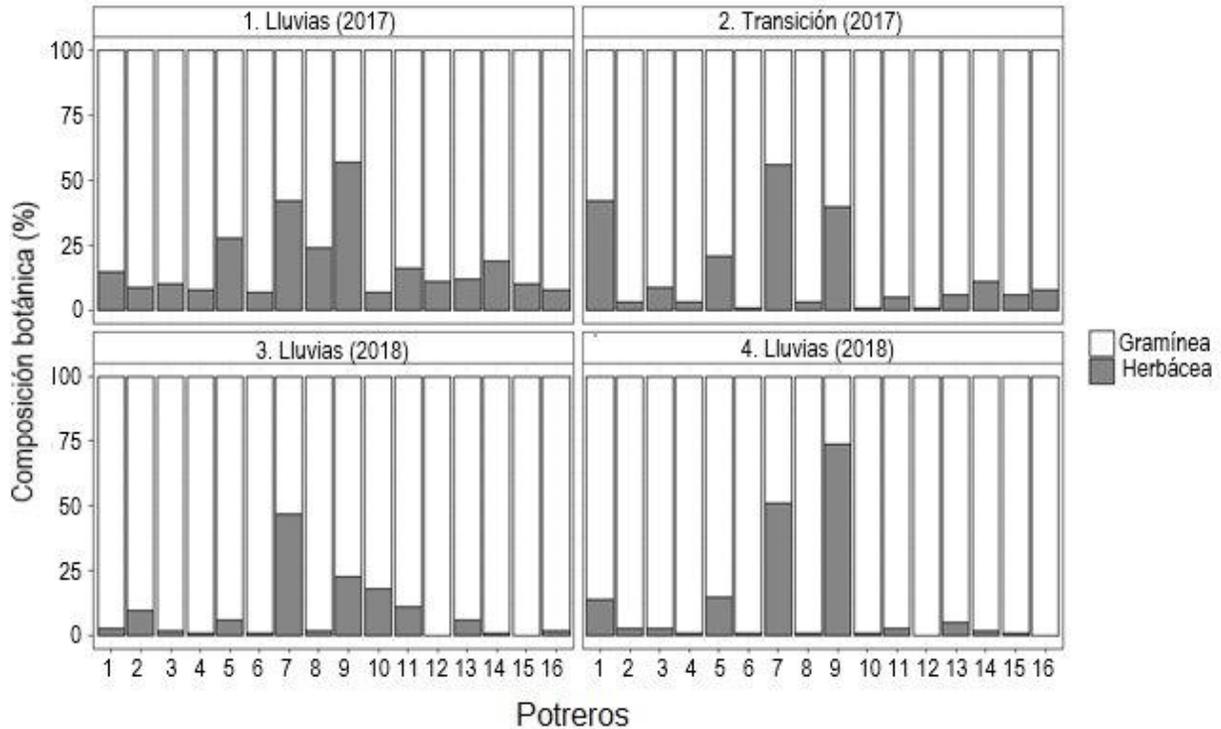


Figura 12. Composición botánica de la biomasa forrajera durante los cuatro muestreos realizados.

La composición botánica correspondiente a las especies de hoja ancha disminuyó con el tiempo después de la implementación del PRV en la mayoría de los potreros, probablemente debido a que algunas especies son menos tolerantes al ramoneo o al pisoteo de los animales (Marion *et al.* 2010). Algunas especies al ser poco abundantes y ser consumidas por el ganado no tienen la oportunidad de regenerarse, lo que causa disturbios a sus comunidades y se extinguen del sitio (Grime, 1979), sin embargo, las especies que sobrevivieron están más adaptadas al forrajeo y sobreviven bien asociadas con el pasto. En dos potreros contiguos (7 y 9) se mantuvo la composición de hoja ancha hasta un año después, debido a que tenían sombra de árboles grandes que se talaron antes de iniciar el estudio (manejo del productor), y los residuos

permanecieron ahí hasta iniciado el estudio, lo que favoreció la dominancia de arvenses herbáceas (no leñosas).

Los resultados de esta investigación mostraron las especies que deben mantenerse y estimular su permanencia para formar parte del forraje consumido por el ganado, y cuales no se adaptan a este tipo de pastoreo o simplemente no son palatables ni consumidas por el ganado (Soder *et al.*, 2009), lo que puede usarse por los productores para favorecer el crecimiento de especies que sean del todo forrajeras, manteniendo la diversidad de los potreros. Además, existen registros donde se muestra que la mayor tasa de crecimiento de las herbáceas de hoja ancha suceden durante la época de lluvias en comparación con los nortes o la época seca (Cab, 2007).

### **6.3 Carga animal**

La carga animal instantánea estuvo determinada con base en la producción de biomasa presente en cada uno de los muestreos realizados. En el primer y segundo muestreo, los potreros que presentaron mayor capacidad de carga animal instantánea fueron el potrero 4 (344 y 449 UGM) y 10 (310 y 364 UGM) (Figura 13). En el tercer muestreo los potreros 4 y 11 tuvieron mayor capacidad de carga animal instantánea (269 y 265 UGM), mientras que en el cuarto y último muestreo, los potreros 12 y 13 presentaron la mayor carga animal instantánea (291 y 274 UGM) respectivamente. De manera constante, los potreros 7 y 9 tuvieron la menor carga animal durante los cuatro muestreos realizados. En el transcurso del año se tuvo una producción de 9 565 kg MS ha<sup>-1</sup>, con una capacidad de carga real de 1.7 UGM ha<sup>-1</sup>, valor superior a la carga

determinada por COTECOCA para pasturas de esta región (SAGARPA y COTECOCA, 2019).

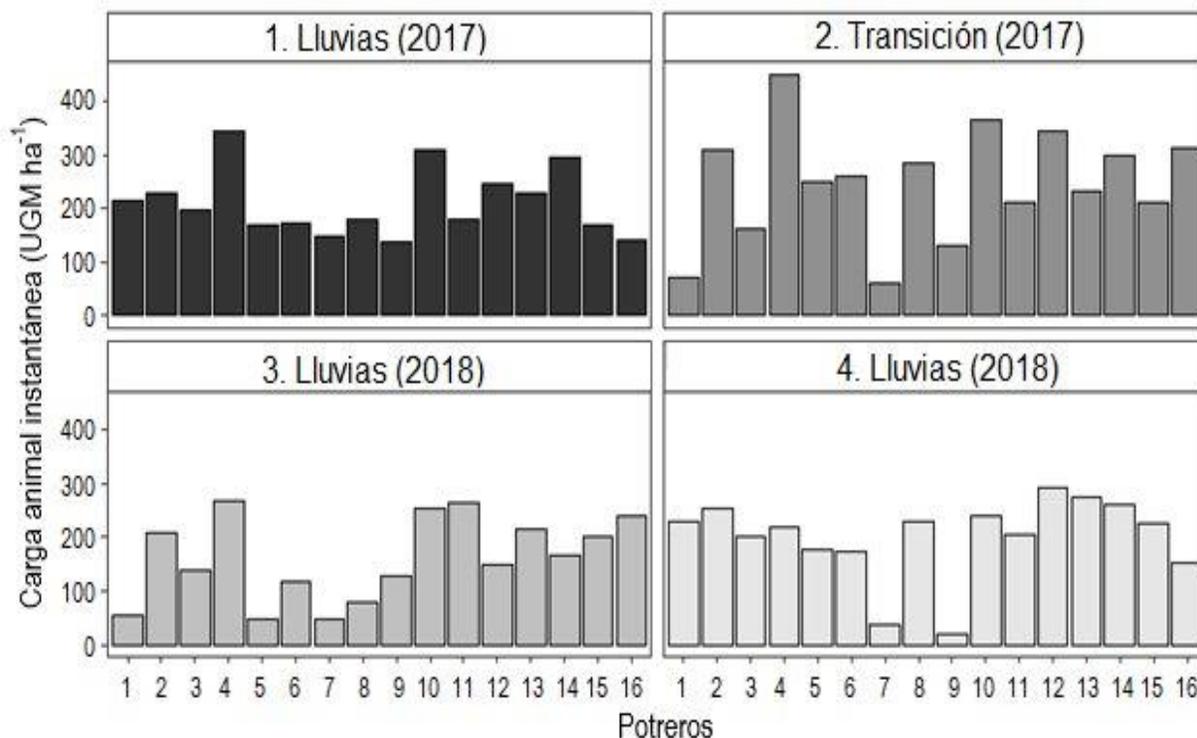


Figura 13. Carga animal instantánea en los cuatro periodos de ocupación, realizados de julio 2017 a septiembre 2018, en pasturas de *Hyparrhenia rufa* manejada en pastoreo regenerativo.

Los fundamentos del PRV indican que la capacidad de carga, es función de la producción de biomasa, la cual a su vez, depende de la cantidad de tejido fotosintético disponible para la intercepción de luz, producción de energía y subsecuente rebrote (Murillo, 1999; Rua, 2010), lo que coincide con los resultados obtenidos en la producción de biomasa a través del año. Así, a medida que la biomasa disminuyó también la capacidad de carga de los potreros disminuyó, sin embargo, existen reportes de que al implementarse el PRV se mantienen cargas superiores a otros

sistemas de manejo. Flores (1997) reportó que las 5.2 UGM obtenida con pastoreo tradicional aumentó hasta 10.8 con el uso del PRV en el lapso de un año.

El manejo de la carga animal y tiempos de ocupación son importantes para la permanencia de las pasturas. Al respecto, el mal manejo de la carga animal en las pasturas tropicales no se manifiesta inmediatamente, por lo que, al aplicar cargas inadecuadas, el cambio en la comunidad de plantas deseables es paulatino (Murillo, 1999). Milera y Martínez (1996), reportaron una carga animal instantánea en el periodo de lluvias de 217 UGM ha<sup>-1</sup>, valor superior a los obtenidos en esta investigación. Sin embargo, durante el periodo de seca reportaron 201 UGM ha<sup>-1</sup>, valor que es menor a los obtenidos en la presente investigación.

#### **6.4 Tiempo de ocupación y recuperación**

La principal condición que definió el tiempo de reposo de los potreros fue la precipitación y la humedad disponible después de cada pastoreo realizado. Después del primer muestreo y pastoreo realizado los potreros requirieron un promedio de 85.1 d de reposo, con un máximo de 98 d en el potrero 16 y un mínimo de 60 d en el potrero 1; en el segundo muestreo, este valor se prolongó en promedio hasta 244.2 d (de 188 d en el potrero 8 a 270 d en el potrero 1); en el tercer muestreo el promedio fue de 57.3 d (de 76 d en el potrero 14 a 22 d en el potrero 3 (Figura 14). Después del cuarto muestreo ya no se registraron los días de descanso.

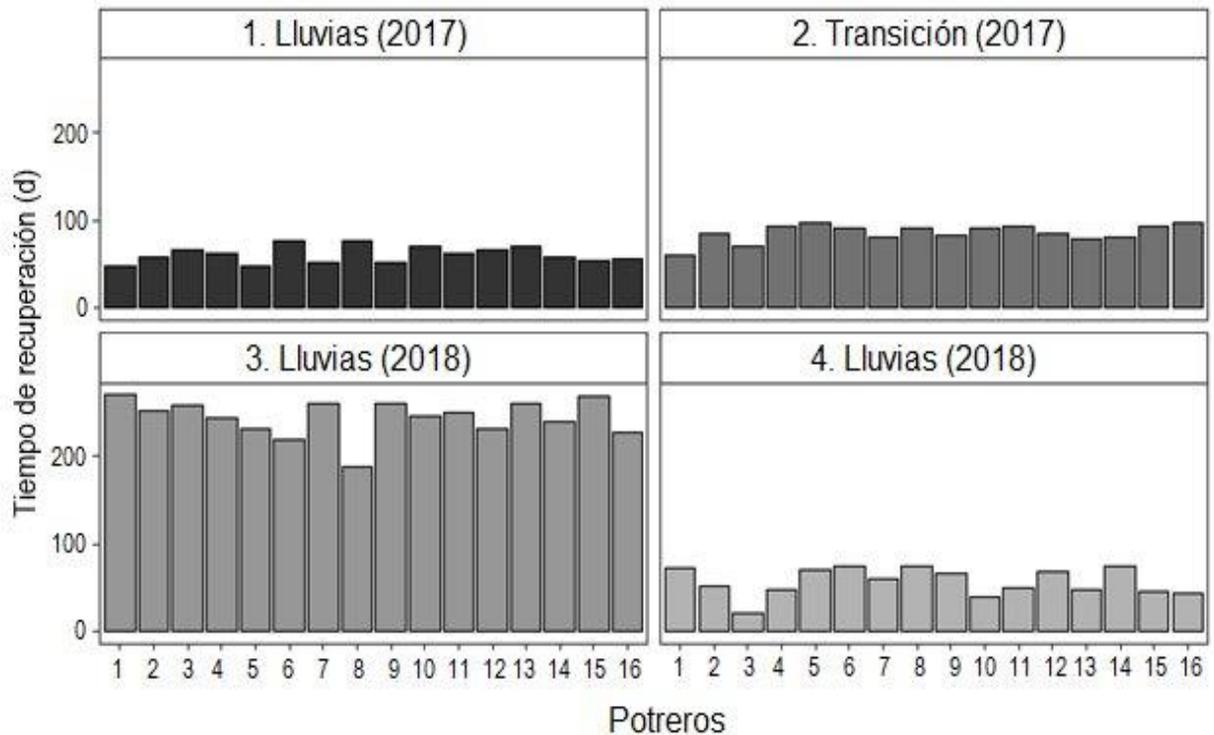


Figura 14. Tiempo de recuperación de *Hyparrhenia rufa* en los cuatro muestreos realizados.

Los potreros utilizados en el periodo de transición a seca permanecieron con muy poco crecimiento durante el periodo de estiaje, lo que en este estudio aumentó el periodo de reposo de los potreros en promedio hasta 244 d. Así, los días de recuperación de los potreros aumentó en el tercer muestreo debido a que dichos potreros pasaron toda la época seca en recuperación, cuando la precipitación pluvial fue prácticamente nula, por lo cual no hubo crecimiento. En el cuarto y último muestreo los días de recuperación de los potreros en promedio fueron de 60 d, debido a que este muestreo se realizó en la misma época de lluvias. Este tiempo de recuperación es largo porque la precipitación pluvial en la zona está concentrada en pocos meses y es bastante errática.

Los resultados obtenidos varían en comparación con otros estudios (Rua, 2010; Murillo, 1999). Los mejores tiempos de recuperación de los potreros es de 28 y 35 días, valor

que se incrementa en los tiempos de crecimiento lento (Melado, 2016); en este estudio se requirieron 270 d hasta la segunda época de lluvias evaluada. Este comportamiento es debido al periodo de estiaje prolongado, donde el crecimiento del forraje es prácticamente nulo, observándose en algunos potreros crecimientos de hasta 15 cm de altura, pero el estrés hídrico ocasiona que se sequen. En algunas ocasiones se cumple solamente con el 10 % del tiempo ideal de reposo, aumenta hasta un 33 % y el crecimiento se va acelerando a medida que se almacenan los nutrientes y las plantas se adaptan a los pastoreos hasta encontrar un punto óptimo de reposo (Voisin, 1974; Milera y Martínez, 1996; Melado, 2016).

Los tiempos muy cortos de reposo favorecen el crecimiento de especies con menor valor forrajero, y algunas especies forrajeras son muy sensibles al pastoreo al inicio de su crecimiento activo luego de la época de reposo (Voisin, 1981).

### **6.5 Calidad nutritiva de *Hyparrhenia rufa***

Los resultados obtenidos muestran que bajo manejo de PRV, la calidad nutritiva varía muy poco. La concentración de proteína no varía más de un punto porcentual entre las épocas, ya que en todos los casos se mantuvo en el rango de 5.0 a 5.6 %, solo varían ligeramente los componentes de la fibra, mientras que FDN en lluvias y transición fue 67.4 y 70.9 % (Cuadro 1), los resultados obtenidos para la FDA varían más, siendo más bajos en la época de lluvias (36.7 a 38.2 %). El porcentaje de lignina fue bajo y también poco variable entre épocas.

Cuadro 1. Calidad nutritiva de *Hyparrhenia rufa* bajo pastoreo regenerativo en las épocas de lluvias y transición a seca.

Época	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina
Lluvias 2017	5.0	69.9	39.0	6.8
Transición 2017	5.2	70.9	41.8	7.2
Lluvias 2018	5.1	67.9	38.2	5.7
Lluvias 2018	5.6	67.4	36.7	5.2

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por otros autores; por ejemplo, González *et al.* (2017) reportaron en promedio 5.4 % (4.2 % en partes no comestibles y 6.6 % en partes comestibles) de contenido de PC con variación significativa través de las distintas épocas del año; sin embargo, Abaunza *et al.*(1991) reportaron mayor contenido de PC (10.6 %). En el presente estudio se muestreó la planta completa, considerando que el animal no tendría oportunidad de seleccionar el forraje, que lo consumiría todo y que además uno de los objetivos era medir la cantidad de biomasa total disponible. Cabe destacar que los suelos de la zona y del sitio donde se realizó la investigación, son poco fértiles, con contenidos bajos de N y de materia orgánica (Avendaño-Yáñez *et al.*, 2017).

## 6.6 Curvas de crecimiento

En la época de transición a seca la cantidad de biomasa acumulada de la gramínea aumentó hasta alcanzar un punto máximo a los 70 d, se observó que hasta los 42 d, este incremento se debió a la humedad disponible por precipitación pluvial; posteriormente y hasta los 70 d la humedad fue más limitada lo que ocasionó un incremento mínimo en la biomasa acumulada (Figura 15).

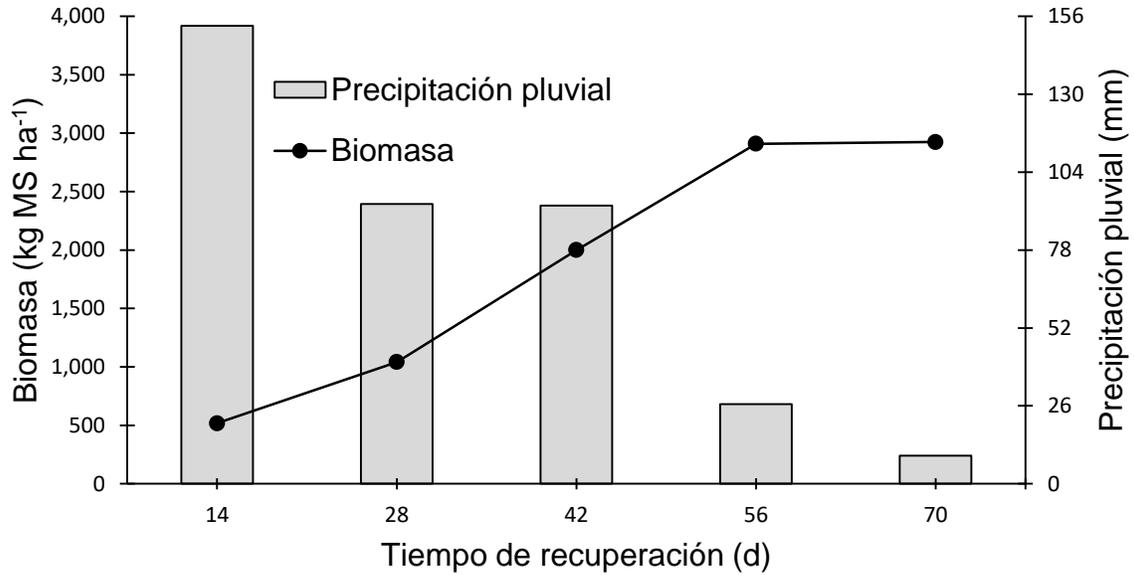


Figura 15. Curva de acumulación de biomasa forrajera de *Hyparrhenia rufa*, manejada en pastoreo regenerativo medida en el periodo de transición a época seca del 11 de septiembre al 6 de noviembre de 2017.

La curva de acumulación en la época de lluvias inició con las primeras lluvias, sin embargo, la precipitación fue escasa, por lo cual, las plantas crecieron y alcanzaron un punto óptimo de reposo a los 35 d, pero la cantidad de biomasa acumulada fue baja (1 226 Kg MS ha<sup>-1</sup>) (Figura 16).

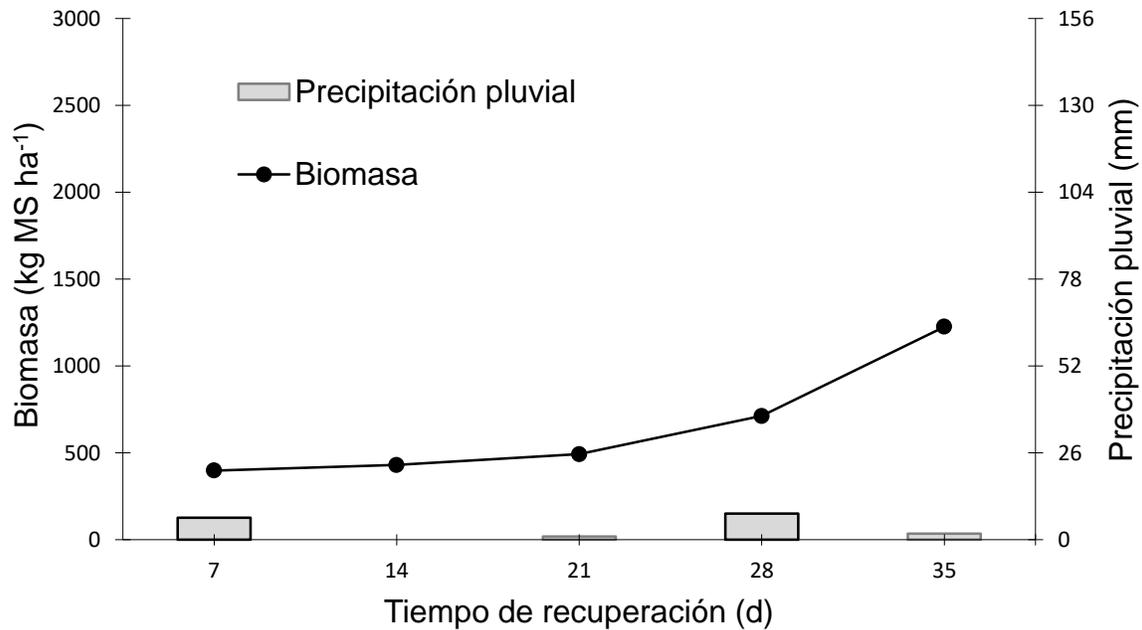


Figura 16. Curva de acumulación de biomasa forrajera de *H. rufa*, manejada en pastoreo regenerativo medida en la época de lluvias del 22 de mayo al 19 de junio de 2018.

Estas curvas de crecimiento son útiles para predecir los tiempos de reposo a través del año de muestreo y de los siguientes años, y aunque son referencias, no son exactas porque las épocas de precipitación y seca puede variar a través de los años, pero pueden ayudar a tomar decisiones más acertadas acerca de los periodos de reposo del pasto y la bioma producida (Melado, 2016), que se reflejará en la productividad del pasto y de los animales, además del tiempo de reposo de cada potrero. Voisin (1974) menciona que más allá de poder establecer tiempos óptimos estacionales, es necesario recordar las variaciones entre años, regiones y países, la fertilización, así como la influencia recíproca del tiempo de reposo y del crecimiento diario de la pastura. Por lo que el cálculo del tiempo de reposo debe realizarse por aproximaciones sucesivas y nunca tomarse como valores absolutos. Es mucho más ventajoso introducir al ganado a pastorear después de que el pasto completa su "tiempo óptimo de reposo",

pero en ocasiones se deben tomar decisiones de pastoreo antes del tiempo de reposo, principalmente en sistemas recién implementados en donde la experiencia es poca y los factores climáticos o ambientales no son muy favorables.

## 7. CONCLUSIONES

El pastoreo regenerativo aumenta el rendimiento de la biomasa forrajera a través del tiempo y puede ser visible desde el primer año de evaluación. Este aumento positivo hace posible la alimentación de más ganado en la misma unidad de suelo, sin embargo este tipo de manejo debe ser observado y analizado por periodos de tiempo más prolongados para registrar mejor los cambios que suceden en todo el sistema y la variación anual. Con este sistema de pastoreo, se aumenta el número de especies que componen la biomasa forrajera, de manera que las arvenses asociadas (herbáceas y arbustivas) se convierten en forraje, con excepción de una o dos que por alguna razón (presencia de compuestos secundarios o espinas) no son palatables. Conforme se van haciendo más periodos de pastoreo, cambia la composición botánica de los potreros que tienen más cobertura de arvenses, por lo que al cabo de un año, algunas especies disminuyen su cobertura o ya no aparecen, dando paso a mayor composición de gramíneas y por tanto, la productividad mejora.

La capacidad de carga aumentó de 0.8 al inicio del estudio a 1.7 UGM ha<sup>-1</sup>, lo que representó un aumento importante con solo 16 meses de aplicación del PRV, que se considera un tiempo corto de evaluación.

La calidad nutritiva de la gramínea se mantiene muy constante a través de la época de crecimiento incluyendo el periodo de transición, sin embargo los valores de proteína cruda obtenidos son bajos, pero existe la posibilidad de que la composición química del forraje mejore al mejorar la fertilidad del suelo en el tiempo con la implementación del

PRV. Esto sucede por la acumulación paulatina de excretas y orina en el suelo, que a su vez van favoreciendo la vida de la fauna edáfica para la generación de suelo fértil.

El tiempo de reposo que requiere un potrero para poder volver a ser consumido por los animales está muy relacionado con la cantidad de humedad y precipitación pluvial que se presente a lo largo del año, la cual puede variar de un periodo a otro y esto puede reducir o prolongar más el tiempo de reposo en los potreros. Los tiempos de recuperación en esta investigación fueron cortos en la época de lluvias y más largos en la época de transición a seca, y aumenta hasta 270 d debido al estiaje tan largo, sobre todo en un año con estiaje severo. Bajo estas condiciones, se hace más importante todavía, el presupuestar el abastecimiento de forraje durante el año, es decir, programar el número de potreros igual al número de días de estiaje, para que un rancho siempre tenga potreros en descanso que se utilizarán cuando lleguen al punto óptimo de reposo.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda iniciar con un proyecto de PRV en el inicio de la época de lluvias para tener una buena presupuestación de los forrajes para época de estiaje, ya que si se inicia en la época de transición a seca la precipitación es muy baja y en ocasiones nula, lo cual no permitiría tener forraje disponible para todo el año.

Al realizar este tipo de pastoreo es de suma importancia el abastecimiento de agua en cada uno de los potreros (pueden ser móviles) para dar a los animales el mayor confort posible y puedan consumir toda la biomasa presente en cada uno de los potreros, así como aumentar la producción de carne y leche.

En futuras investigaciones en las que se realice la evaluación de PRV, se considera realizar observaciones por un tiempo más prolongado, mínimo de dos años y evaluar parámetros productivos en los hatos y los potreros como condición corporal, reproducción, ganancia de peso, sanidad del hato, productividad y calidad del forraje, calidad del suelo, así como hacer un balance económico a través del tiempo.

## 9. LITERATURA CITADA

- Abaunza M., A., C. Lascano E., H. Giraldo, y J. Toledo M. 1991. Valor nutritivo y aceptabilidad de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales en suelos ácidos. *Pasturas Tropicales* 13(2): 1-9.
- Agreda T., O. 1961. Efectos del fotoperiodo y variedad del pasto Jaragua *Hyparrhenia rufa* (Nees.) STAPF. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. pp: 3-11.
- Altieri M., A. 1999. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan–Comunidad Avda. Millán 4113, 12900 Montevideo. 325 p.
- AOAC. 1980. Official method 4.2.11 protein (crude) in animal feeds, forage (plant tissue), grain, and oilseeds. In: C Vanderzant and DF Splittstoesser (eds) Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists international, 13th ed. Washington DC, AOAC International <http://www.eoma.aoac.org>. [Consultado enero 2019].
- Avendaño-Yáñez, M. L., S. López-Ortiz, Y. Perroni, and S. Pérez-Elizalde. 2017. Leguminous trees from tropical dry forest generate fertility islands in pastures. *Arid Land Research and Management* 14 p.
- Ayala, W., y D. Bendersky. 2017. Modificaciones de la productividad del campo natural vía incorporación de especies y nutrientes: oportunidades y consecuencias. En:

- XXIV Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur-Grupo Campos. Ayala, W. (ed.) 13 y 14 de julio de 2017 en Tacuarembó-Uruguay. pp: 14-23.
- Barahona R., R., y S. Sánchez P. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 6(1): 69-82.
- Bautista-Tolentino, M., S. López O., H. Pérez P., M. Vargas M., F. Gallardo L., y F. Gómez M. 2011. Sistemas agro y silvopastoriles en la comunidad El Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems 14: 63-76.
- Benítez, D., A. Ramírez, M. Díaz, J. Ray, J. Guerra, y A. Vegas. 2007. Comportamiento de machos vacunos en un sistema racional de pastoreo en el Valle del Cauto. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 41(3): 227-230.
- Borja T., A., M. A. Chanona S., y S. López G. 2017. Servicio de consultoría para el control del pasto jaragua (*Hyparrhenia rufa*) en cinco hectáreas afectadas por incendios forestales en los márgenes del humedal del Parque Nacional Cañón del Sumidero e implementar acciones de restauración. Asociación Mexicana de Profesionales Forestales AC. Sección Chiapas. 33 p.
- Bruch J., J. 2010. Pastoreio Racional Voisin e aspectos gerais da ovinocultura na regio de Magallanes – Patagonia chilena. Tesis de Licenciatura. Universidad Federal de Santa Catarina. 46 p.

- Bruno, O. A., H. Castro, E. A. Comerón, M. C. Díaz, S. Guaita., M. C. Gaggiotti, y L. A. Romero. 1995. Técnicas de muestreo y parámetros de calidad de los recursos forrajeros. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Publicación Técnica N° 56. 15 p.
- Cab J., F. E. 2007. Potencial productivo de gramíneas del genero *Brachiaria* en monocultivo y asociadas con *Arachis pintoii*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Texcoco Edo. de México. 82 p.
- Cab J., F. E., J. F. Enríquez Q., J. Pérez P., A. Hernández G., J. G. Herrera H., E. Ortega J., y A. Raymundo Q. C. 2008. Potencial productivo de tres especies de *Brachiaria* en monocultivo y asociadas con *Arachis pintoii* en Isla, Veracruz. Técnica Pecuaria México 46(3): 317-332.
- CABI. 2016. *Hyparrhenia rufa*. Invasive Species Compendium. Wallingford. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/27716>. (Consultado en julio 2018).
- Canudas L., E. G., F. I. Juárez L., F. Montiel P., y J. Reyes G. 2008. Diagnóstico en la producción y valor nutritivo del pasto para consumo de bovinos a través del año en el GGAVATT Medellín, Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 10 p.
- Cárdenas C., E., A. M. Bustamante L., J. E. Espitia B., y A. Páez M. 2012. Productividad en materia seca y captura de carbono en un sistema silvopastoril y un sistema tradicional en cinco fincas ganaderas de piedemonte en el departamento de Casanare. Revista Medicina Veterinaria 24: 51-57.

- Carrera C., B., M. A. Gómez C., R. Schwentesius R. 2014. La Ganadería Bovina de Carne en México: Un Recuento Necesario Después de la Apertura Comercial. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Ciudad Juárez. Chihuahua, México. 109 p.
- Casanova-Pérez L., J. P. Martínez-Dávila, S. López-Ortiz, C. Landeros-Sánchez, G. López-Romero, y B. Peña-Olvera. 2015. El agroecosistema comprendido desde la teoría de sistemas sociales autopoieticos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(4): 855-865.
- Clayton, W. D., M. Vorontsova, K. T. Harman, y H. Williamson. 2016. GrassBase-the online word grass flora. <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>. [Consultado en enero 2019].
- Daubenmire, R. 1972. Ecology of *Hyparrhenia rufa* (Nees) in Derived Savanna in North-Western Costa Rica. Journal of Applied Ecology 9(1): 11-23.
- Dávila A., P., y J. Sánchez-Ken. 1996. La importancia de las gramíneas como forraje en México. Ciencias 44: 32-34.
- De Gante R., P. 2018. Crecimiento, rendimiento y calidad nutritiva de gramíneas bajo el dosel de árboles leguminosos en el trópico subhúmedo. Tesis de Maestría en Ciencias Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados. 64 p.
- Del Pozo R., P. P. 2002. Bases fisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Pastos 2:109-137.

Diario Oficial de la Federación. 2018. Acuerdo por el cual se emiten los lineamientos de operación al programa crédito ganadero a la palabra.

[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5550950&fecha=22/02/2019](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5550950&fecha=22/02/2019)

[Consultado en febrero de 2019].

Duarte, G., V., V. R. Schuh, C. Alceu, y S. Sehnem. 2010. Pastoreio Racional Voisin: Alternativa Econômica e Sustentável para Permanência do Produtor de Leite no Meio Rural. In: 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente Bento Gonçalves – RS, Brasil. pp: 1-8.

Enríquez Q., J. F., F. Meléndez N., E. D. Bolaños A., y V. A. Esqueda E. 2011. Producción y manejo de forrajes tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Medellín de Bravo, Ver, México. 443 p.

FAO. 2011. Ganadería mundial 2011-La ganadería en la seguridad alimentaria. McLeod, A. (ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 156 p.

Feria, A. L., G. Valdés., P. C. Martín, y M. E. González. 2002. Evaluación de tres métodos de pastoreo para la ceba bovina. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 36(3): 225-230.

Flores G., A. 1997. Sistemas de pastoreo (Con Énfasis en el Pastoreo Racional Voisin –PRV) 13 p. disponible en: [https://www.academia.edu/2647906/Sistemas\\_de\\_Pastoreo\\_con\\_%C3%A9nfasis\\_en\\_el\\_Pastoreo\\_Racional\\_Voisin\\_](https://www.academia.edu/2647906/Sistemas_de_Pastoreo_con_%C3%A9nfasis_en_el_Pastoreo_Racional_Voisin_)  
.[Consultado el 13 de abril de 2019].

- García A., E. 2004. Modificaciones a la clasificación climática de Köppen. 5a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 98 p.
- Gargano, A. O., M. C. Saldungaray, y M. A. Adúriz. 2007. Productividad y calidad forrajera de *Antheppora pubescens* cv. Wollie diferida. Revista de Investigaciones Agropecuarias 36(1): 21-32.
- González P., E., y J. L. Dávalos F. 2015. Estado del Arte sobre Investigación e Innovación Tecnológica en Ganadería Bovina Tropical. Red de Investigación e Innovación Tecnológica para la Ganadería Bovina Tropical- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D. F. 277 p.
- González M., A. J., J. Rojas H., F. J. Chavarría-Ñamendi, y R. M. Jiménez G. 2017. Disponibilidad de biomasa y contenido de proteína cruda de *Hyparrhenia rufa* y *Panicum maximun* cv Tanzania asociadas con *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* en sistema de pasturas en callejones. La Calera Revista Científica 17(28): 15-20.
- Google Earth. 2018. Ubicación de potrero en “El Limón”, Paso de Ovejas, Veracruz. Recuperado de: <https://www.google.com.co/maps>. (Consultado el 3 de octubre, 2018).
- Grime, J. P. 1979. Plant Strategies and Vegetation Processes. John Wiley & Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto. 222 p.

- Hart D., R. 1985. Conceptos Básicos sobre Agroecosistemas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 160 p.
- Hernández X., E. 1997. Agroecosistemas de México. Editorial Colegio de Postgraduados-Escuela Nacional de Agricultura. Texcoco, Estado de México, México. 42 p.
- Herrera R., S. 2015. El Instituto de Ciencia Animal, cincuenta años de experiencia en la evaluación de gramíneas de importancia económica para la ganadería. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 49(2): 221-232.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática). 2007. Censo Agropecuario. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/> [Consultado febrero de 2019].
- Lara del R., M., y L. Ortega R. 1998. Rendimiento de ocho pastos cosechados a diferentes edades de rebrote durante tres años en Escárcega, Campeche. *Técnica Pecuaria México* 36(2): 141-150.
- López C., C. 2008. Uso actual, potencial y clasificación campesina de tierras agrícolas en la comunidad de Angostillo, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Reporte Técnico. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, 42 p.
- López O., S., P. Olguín C., P. Pérez H., y F. Villarruel M. 2011. Sistemas silvopastoriles intensivos con guácimo experiencia en Veracruz con pequeños productores. *En:*

III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la Ganadería Sostenible del Siglo XXI. Marzo 2011. Morelia, Michoacán. pp: 122-130.

Mandaluniz, N., J. Arranz, y R. Ruiz. 2015. Efecto del tipo de pastoreo sobre parámetros de producción de hierba y leche en un sistema de ovino lechero. 8 p. <https://studylib.es/doc/5490066/efecto-del-tipo-de-pastoreo-sobre-parámetros-de>. (consultado en febrero de 2019).

Marion, B., A. Bonis, y J. B. Bouzillé. 2010. How much does grazing-induced heterogeneity impact plant diversity in wet grasslands? *Ecoscience* 17(3): 229-239.

Martínez D., J. P., C. Landeros S., y A. Pérez V. 2004. El concepto de agroecosistema: Un enfoque de Cadenas Producción-Consumo. En: Primer Coloquio sobre Agroecosistemas y Sustentabilidad. 27 octubre. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. 16 p.

Martínez-Méndez, D., J. F. Enríquez-Quiroz., E. Ortega-Jiménez., V. A. Esqueda-Esquivel, A. Hernández-Garay, y J. A. S. Escalante-Estrada. 2016. Rehabilitación de una pradera de pasto Insurgente con diferentes métodos de manejo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(8): 1787-1800.

Melado, J. 2016. Manejo sustentável de pastagens- Pastoreio Voisin, manejo de pastagem ecológica. *En: Manejo Sustentável de Pastagen*. Governo do Estado de Sao Paulo. Brasil. 53 p.

- Milera, M. 2011. Cambio climático, afectaciones y oportunidades para la ganadería en Cuba. *Pastos y Forrajes* 34: 127-144.
- Milera, M., y J. Martínez. 1996. Efecto del manejo intensivo racional sobre el comportamiento de gramíneas tropicales sin la aplicación de riego ni agroquímicos. Disponibilidad de materia seca. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 10 p.
- Morillo, D. E. 1994. Efectos de la época seca sobre la producción forrajera y bovina. *Revista de Agronomía* 11(2): 152-163.
- Murillo F., J. C. 1999. Respuesta de una pradera de estrella (*Cynodon nlemfuensis*), bermuda (*Cynodon dactylon*) y guinea (*Panicum maximum*), a un sistema de pastoreo intensivo tecnificado móvil con bovinos de engorda. Tesis de Maestría en Ciencias Pecuarias. Universidad de Colima. Colima México 119 p.
- Nascimento J., D., Torregrosa L. J., Diogo J. M. S. 1995. Diet selected by steers on a natural pasture in Vicoso, Brazil. *Pasturas Tropicales* 17(2): 39-41
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academy Press. Washington, D.C. 401 p.
- Pinheiro, L. C. 2015. *Pastoreo Racional Voisin: Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio*. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 253 p.
- Purroy-Vásquez, R., F. Gallardo-López, E. Ortega-Jiménez, P. Díaz-Rivera, S. López-Ortiz, y G. Torres-Hernández. 2016. Eficiencia energética y económica,

- bienestar familiar y productividad en agroecosistemas tropicales. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 13: 513-527 p.
- Quattrocchi U. 2006. CRC World dictionary of grasses: common names, scientific names, eponyms, synonyms, and etymology. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA.
- Quiroz M., S. 2017. Efecto del dosel de *Vachellia pennatula* en la fisiología, producción y calidad nutritiva de las gramíneas tropicales *Hyparrhenia rufa* y *Megathyrsus maximus*. Tesis de Maestría en Ciencias Agroecosistemas Tropicales Colegio de Postgraduados. 82 p.
- Rincón C., A. 2006. Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas en los llanos orientales de Colombia. 2da edición, boletín técnico n° 49. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Villavicencio, Meta, Colombia. 30 p.
- Romeu, E. 1999. El mundo de las gramíneas: algo más que hierbas o zacates. *Biodiversitas* 24: 1-6.
- RStudio. 2014. The "R" Foundation for Statistical Computing Platform. Versión 3.4.3. UNIX.
- Rúa F. M. 2010. Beneficios del pastoreo racional Voisin. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar) 6 p.

- Rubio G., M. 2018. En: Ganadería sustentable en el Golfo de México. Halffter, G., M. Cruz y C. Huerta (Comps.). Instituto de Ecología, A. C., México. 430 p.
- Ruiz R., O. 1995. Agroecosistema: el termino, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. En: II Seminario Internacional de Agroecología. Universidad Autónoma de Chapingo. 12 p.
- SAGARPA y COTECOCA. 2009. Coeficientes de agostadero por tipo de vegetación. [http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5\\_8080/ibi\\_apps/WFServletbe33.html](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServletbe33.html). (Consulta: abril 2019).
- Serrao E., S. A., y M. B. Días F. 1988. Establecimiento y recuperación de pasturas entre los productores del trópico brasileño. En: VI Reunión del comité asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Veracruz. México. pp: 347-383.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca). 2016. Producción Ganadera. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria> [Consultado en Marzo 2018].
- Soder, K. J., P. Gregorini., G. Scaglia, y A. J. Rook. 2009. Dietary selection by domestic grazing ruminants in temperate pastures: current state of knowledge, methodologies, and future directions. *Rangeland Ecology and Management* 62: 389-398.

- Sorio, A. 2008. Sustentabilidade nos sistemas de produção de bovinos Visão administrativa sobre o método Voisin. Revista de Política Agrícola 17(2): 65-75.
- Suárez C., D. 2017. ¿Qué es Agricultura Regenerativa? Instituto for Sustainable Development. <https://thecarbonunderground.org/>. [Consultado en febrero de 2019].
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2a. ed. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA. 476 p.
- Veneciano, J. H., L. Frigerio K., y A. Frassinelli C. 2006. Acumulación de forraje e indicadores de calidad en *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes frecuencias de defoliación. Revista de Investigaciones Agropecuarias 3: 121-133.
- Voisin, A. 1974. Productividad de la hierba. Editorial Tecnos. Madrid. España. 499 p.
- Voisin, A. 1971. Dinámica de los pastos. Editorial Tecnos. Madrid. España. 452 p
- Von Bertalanffy, L. 1976. El significado de la teoría de sistemas. En: La Teoría General de Sistemas. Fondo de la cultura económica, S.A de C.V. México. pp: 30-53.
- Zanoniani, R., y F. Lattanzi. 2010. Rol de las pasturas cultivadas en sistemas de producción basados en campo natural. En: XXIV Reunión del grupo técnico en forrajeras del cono sur. Walter Ayala, y P. Boggiano (eds.). 13 y 14 de julio. Tacuarembó, Uruguay. pp: 24-28.