

Evaluación agronómica y análisis
productivo del botón de oro
(***Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray**)
como suplemento alimenticio de vacas
lecheras en trópico alto

Luis Alberto Gallego Castro

Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro
(***Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray**) como suplemento
alimenticio de vacas lecheras en trópico alto

Luis Alberto Gallego Castro

Zoot, Esp, Esp.

Trabajo de investigación para optar al título de
Magíster en Ciencias Animales

Tutor

Joaquín Angulo Arizala. Zoot, Esp, MSc, DrScAn.
Profesor Facultad de Ciencias Agrarias

Co-Tutora

Liliana Mahecha Ledesma. Zoot, MSc, DrAgr.
Profesora Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín
2016

Tabla de contenido

	Pág.
Agradecimientos	
Acta de aprobación, sustentación pública y de distinción	11
Lista de abreviaturas	14
Resumen general	16
General abstract	18
Capítulo 1. Generalidades	20
1.1 Introducción general	20
1.2 Planteamiento del problema	22
1.3 Objetivos	24
1.3.1 Objetivo General	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
1.4 Hipótesis	25
Capítulo 2. Marco teórico: Potencial forrajero de <i>Tithonia diversifolia</i> Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras	26
2.1 Resumen	27
2.2 Abstract	28
2.3 Introducción	29
2.4 Métodos	30
2.5 Avances en investigación sobre <i>Tithonia diversifolia</i>	30
2.6 Generalidades de la ganadería especializada de leche en el trópico alto de Colombia	32
2.7 Características de la <i>T. diversifolia</i>	33
2.8 Uso potencial de la <i>T. diversifolia</i> en sistemas lecheros de trópico alto	37
2.9 Consideraciones finales	42
2.10 Literatura citada	43
Capítulo 3. Establecimiento, crecimiento y desarrollo de <i>Tithonia diversifolia</i> Hemsl. A Gray en condiciones de trópico alto	49
3.1 Resumen	50
3.2 Abstract	51
3.3 Introducción	52
3.4 Materiales y métodos	54
3.4.1 Desarrollo de plantas obtenidas por semilla sexual con siembra directa en campo	54

3.4.2 Desarrollo de plantas obtenidas por diferentes métodos de siembra	56
3.4.3 Obtención de semilla sexual de botón de oro	58
3.5 Resultados y discusión	59
3.5.1 Desarrollo de plantas obtenidas por semilla sexual	59
3.5.2 Producción de biomasa de plantas obtenidas por diferentes métodos de siembra	63
3.5.3 Aproximación a la producción de semilla sexual de botón de oro	67
3.6 Literatura citada	71
Capítulo 4. Calidad nutricional de <i>Tithonia diversifolia</i> Hemsl. A Gray en condiciones de trópico alto	75
4.1 Resumen	76
4.2 Abstract	77
4.3 Introducción	78
4.4 Materiales y métodos	79
4.4.1 Cultivo del botón de oro	80
4.5 Resultados y discusión	82
4.6 Literatura citada	89
Capítulo 5. Efecto de la inclusión de <i>Tithonia diversifolia</i> Hemsl. A Gray en el suplemento alimenticio, sobre la producción de leche en vacas holstein en trópico alto	92
5.1 Resumen	93
5.2 Abstract	94
5.3 Introducción	95
5.4 Materiales y métodos	97
5.4.1 Consumo de materia seca	100
5.4.2 Cantidad y calidad de leche	100
5.4.3 Relación beneficio costo	101
5.5 Resultados y discusión	101
5.5.1 Consumo de materia seca	102
5.5.2 Cantidad y calidad de leche	105
5.5.3 Relación beneficio costo	113
5.6 Literatura citada	116
Conclusiones generales	121
Bibliografía general	123

Lista de cuadros

	Pág.
Cuadro 2.1 Composición nutricional de algunas forrajeras arbustivas de uso en la alimentación de rumiantes.	35
Cuadro 2.2. Composición nutricional, digestibilidad <i>in vitro</i> (DIV), digestibilidad de la pared celular (DPC) y perfil polifenólico de <i>Tithonia diversifolia</i> a los 60 días de edad en periodos lluvioso y poco lluvioso.	36
Cuadro 3.1. Características del suelo donde se evaluó el protocolo de siembra de semilla sexual de botón de oro y del suelo donde se comparó el crecimiento y desarrollo de plantas de botón de oro. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013.	55
Cuadro 3.2. Crecimiento promedio semanal de plantas de <i>Tithonia diversifolia</i> , obtenidas mediante siembra por semilla sexual. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013.	60
Cuadro 3.3 Crecimiento promedio por semana de plantas de <i>Tithonia diversifolia</i> , obtenidas mediante siembra por estacas (Pes), semilla sexual manejada <i>in vitro</i> (Piv) y semilla sexual manejada en almácigos (Psx). Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2014.	65
Cuadro 3.4. Altura, peso total, peso de tallos, peso de hojas y relación hojas:tallos de plantas de botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) obtenidas mediante siembra por estacas (Pes), semilla sexual manejada <i>in vitro</i> (Piv) y semilla sexual manejada en almácigos (Psx). Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2014.	65
Cuadro 3.5. Número de tallos y flores, peso de flores frescas y secas y cantidad de semilla producida por plantas de botón (<i>Tithonia diversifolia</i>) de oro. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2015.	68
Cuadro 4.1. Características del suelo donde se cultivó <i>Tithonia diversifolia</i> , para comparar la composición bromatológica y el contenido de taninos del forraje obtenido bajo tres sistemas de siembra. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013.	81

Cuadro 4.2. Composición química de plantas de botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) obtenidas mediante estacas (Pes), manejo <i>in vitro</i> (Piv) y semilleros (Psx). Municipio de Guarne, departamento de Antioquia, Colombia, 2014.	83
Cuadro 4.3. Contenido de fenoles totales y taninos totales en plantas de botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) obtenidas mediante estacas (Pes), manejo <i>in vitro</i> (Piv) y semilleros (Psx). Municipio de Guarne, departamento de Antioquia, Colombia, 2014.	87
Cuadro 5.1. Ingredientes utilizados en la preparación de los suplementos concentrados: tradicional (C0) y con 15% (C15) y con 25% (C25) de harina de botón de oro, cosechado en el municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2015.	98
Cuadro 5.2. Composición bromatológica de las dietas con diferentes niveles de botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) (C0, C15 y C25), harina de botón de oro y pasto kikuyo, empleadas en la alimentación de las vacas, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.	99
Cuadro 5.3. Consumo de suplemento en fases pre experimental y experimental y consumo de materia seca total de forraje en fase experimental, por vacas holstein que consumieron suplementos con 0%, 15% y 25% de botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) (C0, C15 y C25), en el municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.	103
Cuadro 5.4. Producción de leche y cantidad de grasa y proteína en la leche de vacas que consumieron suplementos con 0%, 15% y 25% de botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) (C0, C15 y C25), en la hacienda La Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.	106
Cuadro 5.5. Calidad de la leche de vacas que consumieron suplementos que contenían 0%, 15% y 25% de botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) (C0, C15 y C25), en la hacienda La Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.	108
Cuadro 5.6. Relación entre proteína degradable en rumen y proteína cruda y carbohidratos presentes en las dietas con	

diferentes niveles de harina de botón de oro (*Tithonia diversifolia*): alimento balanceado de uso tradicional en la finca (C0) y con 15% (C15) y con 25%, empleadas en la alimentación de las vacas, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015. 109

Cuadro 5.7. Relación entre proteína cruda (PC) y energía neta de lactancia (EN_L) totales de vacas que recibieron dietas con diferentes niveles de harina de botón de oro (*Tithonia diversifolia*): alimento balanceado de uso tradicional en la finca (C0) y con 15% (C15) y con 25%, que pastorearon praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015. 111

Cuadro 5.8. Relación entre la leche producida, suplemento y precio del suplemento con diferentes niveles de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (C0, C15 y C25) suministrado a vacas de alta producción, en la hacienda La Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015. 114

Lista de figuras

	Pág.
Figura 3.1 Desarrollo de plantas de <i>T. diversifolia</i> obtenidas por semilla sexual. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013.	62
Figura 3.2 Características de las semillas de <i>T. diversifolia</i> obtenidas en la finca Santa Martha. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2014.	70

Agradecimientos

Laboratorio de Nutrición de Plantas y Química Suelos, del CIAT, Palmira, Valle del Cauca – Colombia por su apoyo en los análisis de carbohidratos solubles totales, realizado en este estudio.

Al Proyecto de Sostenibilidad 2011-2012 (CODI, Universidad de Antioquia) y al proyecto CODI mediana cuantía 2011 Acta CODI 614 del 14/02/12, por el apoyo económico para la ejecución de este trabajo.

A los profesores Joaquín Angulo Arizala y Liliana Mahecha Ledesma, por su constante ánimo y apoyo.

A Martha Mesa Granda, por su constante ánimo y por su asesoría y apoyo en los asuntos estadísticos de este proyecto.

A David Felipe Nieto Sierra, por su apoyo y colaboración incondicional durante las fases de evaluación agronómica y trabajo de laboratorio.

A Francisco Javier Gutiérrez Guzmán, por estar apoyándome de manera incondicional, en los viajes a la finca para las labores de campo y los muestreos.

Coordinación de Posgrados

ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Medellín a los 10 días del mes de Noviembre del año 2016, se reunió el jurado para calificar el Trabajo de investigación titulado: "*Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro (Tithonia diversifolia Hemsl. A. Gray) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto*"

Del estudiante: Luis Alberto Gallego Castro

Del programa: Maestría en Ciencias Animales

Que realizó bajo la dirección de: Joaquín Angulo Arizala. Dr. Sc.An

Co-directora: Liliana Mahecha Ledesma. Dr. Agri.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los señores:

Tomas E. Ruiz Vásquez

Investigador, PhD. Instituto de Ciencia Animal, Cuba

Juana L. Galindo Blanco

Investigadora, PhD. Instituto de Ciencia Animal, Cuba

y de haber cumplido con el proceso de evaluación, el trabajo fue calificado como:

APROBADA X

NO APROBADA

Adicionalmente por decisión unánime, el jurado evaluador recomienda otorgar al Trabajo de Investigación la distinción de

Sobresaliente X

Meritorio

HOJA ADICIONAL (Para justificación de distinción a la tesis)

En Medellín a los 10 días del mes de Noviembre del año 2016, se reunió el jurado para calificar la Tesis Del estudiante:
Luis Alberto Salgado Castro

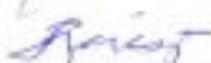
Por decisión unánime, el jurado evaluador recomendó otorgar a la Tesis la distinción de:

Oubreaaliento: X

Meritorio: _____

Justificación para la distinción:

El trabajo de tesis es novedoso y fue presentado y discutido de forma excelente. Los resultados obtenidos en relación a la comparación de diferentes niveles de siembra es muy actual y constituyen lo primero en el mundo. De igual manera se ve gran valor científico el efecto del azufre y sus metabolitos en las células somáticas. Esto abre una nueva línea de investigación a nivel metabólico, que involucra los glúcidos, aminoácidos y sus metabolitos.

	Nombre	Firma
Director:	<u>Joaquín Angulo Arizola</u>	
Jurado:	<u>Juan L. Salazar Blasco</u>	
Jurado:	<u>Tomás E. Ruiz</u>	

La anterior recomendación se basa en:

El trabajo objeto de tesis es muy novedoso y se
presentó y defendió en forma excelente. Los resultados
que presentó se pueden calificar como los primeros
obtenidos con la planta T. diversifolia, lo cual ofrece la
posibilidad de ofrecer información valiosa acerca de
la composición de diferentes cultivos de siembra. La suplementación
con harina de T. diversifolia para la producción de
leche en trópicos altos abre una línea de investigación que
propiciará grandes resultados que conduzcan a obtener tonos
de pigmentos desde la raíz así como su uso para la salud de
la vaca lechera.

(Si se otorga una distinción al trabajo, se deberá acompañar de una justificación en oficio adicional).

Nombre

Firma

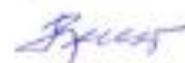
Director: Joaquín Angulo Arzola



Jurado: Juan L. Enriquez Blanco



Jurado: Tomás E. Ruiz Vazquez



Lista de abreviaturas

Abreviatura	Aclaración
A	Arcilloso
Al	Aluminio
Ar	Arenoso
B	Boro
C0	Suplemento de uso tradicional en la finca, sin harina de botón de oro
C15	Suplemento formulado, con inclusión de 15% harina de botón de oro
C25	Suplemento formulado, con inclusión de 25% harina de botón de oro
Ca	Calcio
Cen	Cenizas
CICE	Capacidad de intercambio catiónico
cm	Centímetros
CMS	Consumo de materia seca
Cr ₂ O ₃	Óxido de cromo
CS	Consumo de suplemento
CTN	Carbohidratos totales no estructurales
Cu	Cobre
DDGS	Granos secos de destilería con solubles (Dried Distillers Grains with Solubles)
DIV	Digestibilidad <i>in vitro</i>
DPC	Digestibilidad de la pared celular
EB	Energía bruta
ED	Energía digestible
EN _L	Energía neta de lactancia
FA	Franco arenoso
FArA	Franco arenoso arcilloso
FDA	Fibra detergente ácido
FDAi	Fibra detergente ácido insoluble
FDN	Fibra detergente neutro
Fe	Hierro
FT	Fenoles totales
g	Gramos
ha	Hectárea

K	Potasio
kg	Kilogramos
L	Limoso
LCG	Leche corregida por grasa al 4%
LDA	Lignina detergente ácido
LDA _c	Lignina detergente ácido del suplemento balanceado
LDA _f	Lignina detergente ácido del forraje
LDA _H	Lignina detergente ácido de las heces
m	Metros
M.O.	Materia orgánica
m ²	Metro cuadrado
Mcal	Megacalorías
Meq	Miliequivalentes
Mg	Magnesio
mg	Miligramos
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
MS	Materia seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MUN	Nitrógeno ureico en leche
N	Nitrógeno
Na	Sodio
NH ₃	Amoníaco
P	Fósforo
PC	Proteína cruda
Pes	Plantas obtenidas mediante estacas
PH	Producción heces
Piv	Plantas obtenidas por semilla sexual manejada <i>in vitro</i> y trasplantadas a campo
Psx	Plantas obtenidas por semilla sexual manejada en semilleros y trasplantada a campo
RCS	Recuento de células somáticas
S	Azufre
ton	Toneladas
TT	Taninos totales
Zn	Zinc

Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto

Resumen general

El objetivo general de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico, producción de biomasa y la composición química del botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) obtenido bajo diferentes sistemas de siembra y determinar el efecto de su inclusión en el suplemento alimenticio sobre el comportamiento productivo de vacas lecheras en trópico alto. El manejo nutricional del ganado en estos sistemas productivos está orientado a encontrar estrategias que permitan mejorar la oferta forrajera, en términos de variedad y calidad, disminuir la dependencia de alimentos comerciales o al menos facilitar la inclusión de materias primas que diversifiquen los recursos alimenticios, para mejorar el desempeño animal. El uso de forrajeras como el botón de oro ha venido promoviéndose, sin embargo, se desconocen aspectos sobre el uso de semilla sexual para su establecimiento y su comportamiento bajo condiciones de trópico alto; así mismo, es poca la información disponible sobre su utilización en sistemas de producción lechera en trópico de altura. Este estudio, desarrollado en dos fases, presenta aspectos relacionados con lo anterior.

La primera fase se llevó a cabo en la finca Santa Martha, municipio de Guarne (oriente de Antioquia-Colombia), ubicada a 2453 msnm, entre septiembre de 2013 y junio de 2014; en esta se evaluaron condiciones agronómicas, producción y calidad nutricional de *T. diversifolia* y se aplicó un diseño completamente al azar, con tres tratamientos correspondientes a tres métodos de siembra diferentes, plantas obtenidas mediante estacas (Pes), semilla sexual manejada *in vitro* (Piv) y semilla sexual por siembra en semilleros (Psx) y luego trasplantadas a campo, con ocho parcelas (repeticiones) por tratamiento. A los 56 días contados desde el corte de uniformización se obtuvieron valores para altura (70,1, 65,3 y 69,9 cm), peso de planta completa (1387,8, 1066,6 y 1211,5 g), peso de tallos (712,9, 551,9 y 625,3 g), peso de hojas (674,9, 514,8 y 586,3 g), relación hojas:tallos (0,95, 0,95 y 0,96), y se estimó la materia seca en ton/ha/año (19,5, 14,9 y 17,7), para Pes, Piv y Psx, respectivamente. Se caracterizó la semilla producida en el estudio y se encontraron 13,59 semillas por cada 0,1 g del material producido. Se analizaron los contenidos de materia seca 12,74%, 12,90%, 12,45%, proteína cruda 14,1%, 12,76%, 13,31%, cenizas 16,19%, 15,50%, 16,00%, calcio

2,86%, 3,05%, 2,93%, fósforo 0,27%, 0,25%, 0,27%, fibra detergente neutro 53,81%, 50,21%, 52,80%, fibra detergente ácido 48,18%, 48,87%, 48,47%, carbohidratos totales no estructurales 8,50%, 8,35%, 7,82%, taninos totales 0,08%, 0,11%, 0,08% y fenoles totales 0,20%, 0,29%, 0,24% para plantas completas cosechadas en parcelas establecidas a partir de estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual en almácigos, respectivamente; solo se encontraron diferencias para fenoles totales ($p \leq 0,05$).

La segunda fase, desarrollada en la hacienda La Montaña, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, en el municipio de San Pedro de los Milagros (norte de Antioquia – Colombia), ubicada a 2350 msnm, en el mes de marzo de 2015, fase en la que se evaluó el efecto de la inclusión de harina de botón de oro en el suplemento alimenticio sobre el comportamiento productivo en una ganadería lechera. Con un diseño completamente al azar, con tres tratamientos de acuerdo con el nivel de inclusión de harina de botón de oro, 0%, 15% y 25%, y tres repeticiones por tratamiento, las vacas de raza holstein se uniformizaron por número de partos y días en lactancia. Fueron altamente significativas las diferencias para la relación beneficio:costo cuando se incluyó harina de *T. diversifolia* hasta un 25% en los suplementos alimenticios. No se encontraron diferencias significativas en leche corregida al 4% de grasa (21,99 kg, 22,45 kg y 21,89 kg para C0, C15 y C25, respectivamente), tampoco hubo diferencias para consumo de materia seca y grasa y proteína en leche; se presentaron diferencias significativas para lactosa, recuento de células somáticas, nitrógeno ureico en leche y en la relación leche producida:suplemento consumido.

La semilla sexual de botón de oro (*T. diversifolia*) utilizada para siembra directa en semilleros y luego trasplantada a campo, puede llegar a presentar una alta viabilidad para el establecimiento de esta especie forrajera; este trabajo presenta un protocolo sencillo y de fácil aplicación para la propagación de la planta mediante el uso de semilla sexual, sin embargo aún falta mucha investigación que lleve hacia la especificación de procedimientos para su multiplicación y plantación a gran escala. Se presenta información que permite recomendar la inclusión de *T. diversifolia* en la dieta de vacas lecheras y aproxima a un mejor conocimiento del impacto que se pueda dar desde lo productivo y lo económico. Se recomiendan nuevos estudios que permitan evaluar a profundidad el uso de semilla sexual en el establecimiento de cultivos de botón de oro y los cambios en su producción de biomasa y calidad nutricional a lo largo del año bajo condiciones de trópico alto.

Agronomic evaluation and production analysis of botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) as a food supplement of dairy cows in high tropic.

General abstract

The general aim was to evaluate the agronomic performance, biomass production and the chemical composition of botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) obtained under different planting systems and determine the effect of their inclusion in the nutritional supplement on the productive performance of dairy cows in high tropic. The nutritional management of the cattle in these production systems is oriented at finding strategies that allow improve of fodder offer in terms of variety and quality, reduce the dependence on commercial rations or at least to ease the inclusion of raw materials to diversify food resources and that improve animal performance. The use of forages as the botón de oro has been promoted; however, are unknown many aspects about of the use of sexual seed for its establishment and there is little information available on the performance of this species under high tropic conditions; as well, is little the information available on its use in dairy production systems in high tropic; in this study, developed in two phases, are presented aspects in connection with the above.

The first phase was developed in Santa Martha farm, in the municipality of Guarne (East of Antioquia-Colombia), located at 2453 meters above sea level, between September 2013 and June 2014; in this phase, which evaluated agronomic conditions, production and nutritional quality of *T. diversifolia* and it applies a design completely randomized, with three treatments corresponding to different planting systems, plants obtained by cuttings (pes), sexual seeds handled in vitro (Piv) and sexual seeds handled in nurseries (Psx) and then trasplanted to field, with eight plots (repetitions) for treatment. At 56 days from the uniformity cut, values were obtained for plants height (70,1, 65,3 and 69,9 cm), whole plant weight (1387,8, 1066,6 and 1211,5 g), weight of stalks (712,9, 551,9 and 625,3 g), weight of leaves (674,9, 514,8 and 586,3 g), ratio leaves: stalks (0,95, 0,95 and 0,96) and was estimated dry matter in ton/ha/year (19,5, 14,9 and 17,7) for Pes, Piv and Psx, respectively. Was characterized the seed in the study produced and was found 13,59 seeds for each 0,1 g of material obtained. Was analyzed contents of dry matter 12,74%, 12,90%, 12,45%, protein crude 14,1%, 12,76%, 13,31%, ash 16,19%, 15,50%, 16,00%, calcium 2,86%, 3,05%, 2,93%, phosphorus

0,27%, 0,25%, 0,27%, neutral detergent fiber 53,81%, 50,21%, 52,80%, acid detergent fiber 48,18%, 48,87%, 48,47%, total nonstructural carbohydrates 8,50%, 8,35%, 7,82%, total tannin 0,08%, 0,11%, 0,08% and total phenols 0,20%, 0,29%, 0,24%, for complete plants harvested in plots established by cuttings, by sexual seed handled *in vitro* and by sexual seed handled in seedlings, respectively; only differences were found for total phenols ($p \leq 0,05$).

The second phase, was carried out in La Montaña farm, of the Agricultural Sciences Faculty of the Antioquia University, in the municipality of San Pedro de los Milagros (North of Antioquia-Colombia), located at 2350 meters above sea level, during March 2015. In this phase, was evaluated the effect of including *T. diversifolia* flour in the food supplement over performance of the dairy cattle. With a design completely randomized, with three treatments according to the level of inclusion of botón de oro flour, 0%, 15% y 25%, and three repetitions for treatment, Holstein cows uniformized by parity number and days on production milk. There were highly significant differences to the benefit:cost ratio, when was included *T. diversifolia* flour until 25% in the food supplements. No significant differences were found for milk production corrected to 4% fat (21,99 kg, 22,45 kg and 21,89 kg for C0, C15 and C25, respectively), neither were found significant differences for dry matter intake and fat and protein milk; were found significant differences for lactose, somatic cell count, milk urea nitrogen and in the milk:supplement intake ratio.

The sexual seed botón de oro (*T. diversifolia*) used for direct sowing in nurseries and then transplanted to the field, can present high viability for the establishment of this forage species; this work presents a simple and easy protocol for plant propagation using sexual seed; however, much research remains to that leads to the definition of procedures for their propagation and large scale planting. Is presented information that allows to recommend the inclusion of *T. diversifolia* in the diet of dairy cows and approaches to a better understanding of the impact that may result from productive and economic; are suggested new studies to assess in depth the use of sexual seed for crop establishment of botón de oro and analyze changes in biomass production and nutritional quality throughout year under high tropic conditions.

Capítulo 1.

Generalidades

1.1 Introducción general

En las lecherías típicas de trópico alto en Colombia, el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) significa el mayor aporte en la ración y debido a características como el bajo contenido de materia seca, llevan con frecuencia a balances energéticos negativos en las vacas más productivas, por lo que en muchos casos se sostiene la producción con alimento comercial, compuesto principalmente por cereales como el maíz, subproductos de la soya o de la industrialización de algunos cereales, con alto nivel de proteína, materiales que en muchos casos no permiten que se alcancen los resultados esperados desde lo productivo, lo económico ni la salud de los animales.

Actualmente se buscan materiales de alta producción de biomasa, que presenten rápida recuperación y puedan incorporarse a suplementos alimenticios. La inclusión de *Tithonia diversifolia* (botón de oro) en el suplemento alimenticio, debido a características químicas como su contenido de proteína, carbohidratos solubles y presencia de taninos, puede ayudar a mejorar el balance ruminal en cuanto al aporte de energía y proteína, posiblemente con menores costos energéticos por pérdidas de metano y CO₂ ruminales, y participando en mejoras sobre el medio ambiente y adicionalmente, podría mejorar de manera importante la calidad de la leche obtenida.

El botón de oro ha tomado auge en zonas lecheras de trópico alto, en parte debido a la divulgación de las bondades de esta planta no leguminosa, que presenta facilidad para la acumulación de N, alto nivel de P, amplio rango de adaptación, rápido crecimiento, habilidad para recuperar nutrientes y baja demanda de insumos para su cultivo (Verdecia *et al.*, 2011), y a que entidades colombianas como Ministerio de Agricultura, Secretaría de Agricultura de Antioquia y la Universidad de Antioquia, han generado un convenio para promover su uso en sistemas silvopastoriles o para corte y acarreo, proyectando introducirlo en 250 fincas de las principales zonas lecheras de Antioquia en los próximos tres años.

T. diversifolia puede llegar a convertirse en una materia prima importante para la elaboración de alimentos balanceados, destinados a la

suplementación en las ganaderías lecheras especializadas y así disminuir costos de producción. Sin embargo, en la actualidad es poco lo que se conoce sobre la mejor manera de establecer el cultivo, aunque tradicionalmente se ha hecho con material vegetativo (estacas) existe la opción de hacer la siembra con semilla sexual (Akinola et al., 2000), sin embargo en Colombia no se conocen trabajos de investigación donde se haya empleado este método de siembra.

Al no saber de trabajos que permitan conocer el comportamiento de plantas de botón de oro establecidas por semilla sexual y menos aún, que indiquen si existen diferencias en el desarrollo del cultivo y en el rendimiento productivo según el método de establecimiento, se hace necesario conocer esta información y poder plantear alternativas que faciliten el desarrollo del cultivo de esta especie forrajera a gran escala.

El propósito de este trabajo es dar a conocer los importantes avances logrados en el establecimiento de cultivos de *T. diversifolia* Hemsl. A Gray mediante la siembra con semilla sexual en almácigos y trasplante a campo, proceso que hasta ahora no ha sido descrito en la literatura. Así mismo, se busca presentar por primera vez resultados de la inclusión de la harina de botón de oro en la elaboración de suplementos balanceados destinados a la alimentación de vacas de alta producción lechera en condiciones de trópico alto, a la vez que se muestran los importantes efectos sobre la cantidad y calidad de la leche producida y las repercusiones positivas al mejorar la relación beneficio costo para el ganadero.

El presente trabajo realizará aportes importantes para mejorar la competitividad y sostenibilidad de los sistemas especializados en la producción lechera en las zonas de trópico alto colombiano, para esto se propuso como objetivo general "Evaluar el comportamiento agronómico, producción de biomasa y la composición química del botón de oro (***Tithonia diversifolia*** Hemsl. A Gray) obtenido bajo diferentes sistemas de siembra y determinar el efecto de su inclusión en el suplemento alimenticio sobre el comportamiento productivo de vacas lecheras en trópico alto".

1.2 Planteamiento del problema

El kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), base principal de la ración en las lecherías típicas en trópico de altura, tiene un alto contenido de nitrógeno (N) y baja materia seca, con valores de 26,06%, y 15,6%, respectivamente (Montoya *et al.*, 2004), lo que conlleva frecuentemente a balances energéticos negativos en las vacas más productivas debido a la mayor necesidad de energía, sosteniendo en muchos casos la producción con alimento comercial, elaborado a partir de materias primas que en su mayoría son importadas y de altos costos.

Bajo las mencionadas condiciones es frecuente encontrar alto N dietario que supera las necesidades y genera potenciales problemas de producción y calidad de la leche, fallas reproductivas, efectos económicos negativos, aumento en la excreción de N. La producción en estas zonas se ha caracterizado por monocultivo de gramíneas, poca asociación con leguminosas, árboles o arbustos para sombrero o ramoneo y poco empleo de bancos de proteína. El desbalance energía proteína se traduce en menor eficiencia ruminal para la síntesis de proteína microbiana y lleva a exceso de amoníaco, éste se absorbe y en el hígado es transformado en urea, implicando un alto costo energético en detrimento de la eficiencia general del hato (Giraldo *et al.*, 2005; Olmos y Broderick, 2006).

Productores, centros de investigación y universidades apuntan a mejorar la oferta forrajera, en términos de variedad y calidad nutricional, disminuir la dependencia de alimentos comerciales o al menos facilitar la inclusión de otros que mejoren el desempeño animal; para esto se buscan materiales que resistan al pastoreo, presenten rápida recuperación, alta producción de biomasa y que puedan incorporarse en los suplementos alimenticios. Naranjo y Cuartas (2011), evaluaron la composición química y la cinética ruminal de *T. diversifolia* y recomiendan incluirla como suplemento, lo que puede incrementar el consumo de materia seca.

El establecimiento del botón de oro se ha hecho con material vegetativo (estacas) y poco se conoce sobre el uso de semilla sexual y de acuerdo con Jama *et al.* (2000), el desarrollo y velocidad de crecimiento de las plantas puede variar en función de las condiciones del suelo donde se cultive y del tipo de material usado para su establecimiento.

El establecimiento de botón de oro mediante el uso de estacas ha presentado algunas dificultades como la consecución del material, su traslado a la zona donde se desea establecer y el costo que esto conlleva;

además, este método implica que el proceso de siembra sea rápido para evitar que el material pierda viabilidad. Explorar otras alternativas como la obtención de semilla sexual y aproximarse a conocer un buen método para su uso a gran escala, puede llegar a constituir una buena alternativa para facilitar el uso de esta especie forrajera en la alimentación animal.

La *T. diversifolia* ha sido reconocida entre los productores por su capacidad para la acumulación de nitrógeno (Jama *et al.* 2000, Medina *et al.* 2009 y Verdecia *et al.* 2011) y de fósforo y potasio (Jama *et al.* 2000); así mismo por sus características nutricionales como el contenido de proteína, carbohidratos solubles (Medina *et al.* 2009) y el nivel de taninos, condiciones importantes de analizar, ya que estos componentes pueden ayudar a mejorar el balance alimenticio en cuanto al aporte de energía y proteína en la dieta de ganado lechero especializado.

Mahecha *et al.*, (2007), evaluaron el efecto de la inclusión del forraje de *T. diversifolia* como reemplazo parcial del alimento concentrado en vacas cruzadas holstein por cebú sin encontrar diferencias en la producción y la calidad de la leche y recomiendan su uso como opción estratégica para la producción bovina. Actualmente son pocas las investigaciones de gran impacto sobre otras características de la planta, por ejemplo el mejor método de establecimiento, el comportamiento agronómico, la presencia de taninos, carbohidratos solubles o la calidad proteica.

Medina *et al.*, (2009), definen a la tithonia como una planta de alto valor proteico, que presenta un nivel de carbohidratos solubles superior al de otras forrajeras y su contenido de taninos no resulta elevado y no afectan la actividad ruminal. Esto puede tener un efecto importante sobre el rendimiento productivo de los animales, pues es de esperarse que se mejore la salud ruminal y se logre un gran impacto, no solo económico sino también ambiental. *T. diversifolia* se constituye en una verdadera alternativa para mejorar las condiciones de manejo en los sistemas de lechería de trópico alto en Colombia y puede optimizar la producción de leche y su calidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento agronómico, producción de biomasa y la composición química del botón de oro (***Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray**) obtenido bajo diferentes sistemas de siembra y determinar el efecto de su inclusión en el suplemento alimenticio sobre el comportamiento productivo de vacas lecheras en trópico alto.

1.3.2 Objetivos específicos

Evaluar crecimiento y producción de biomasa de botón de oro (***T. diversifolia***) durante su primer ciclo productivo, a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantadas a campo y caracterizar la semilla sexual obtenida.

Evaluar la composición química de botón de oro (***T. diversifolia***) y contenido de taninos totales y de fenoles totales, a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantadas a campo.

Determinar el efecto de la inclusión de ***T. diversifolia*** en niveles del 0%, 15% y 25% en el suplemento alimenticio, sobre consumo de materia seca, cantidad y la calidad de la leche producida por vacas holstein en el segundo tercio de lactancia.

Evaluar el efecto de la inclusión de botón de oro (***T. diversifolia***) en el suplemento alimenticio, sobre la relación beneficio costo en una lechería de trópico alto.

1.4 Hipótesis

Este es el primer estudio realizado que compara plantas botón de oro obtenidas a partir de material sexual y no sexual, lo que permitió el establecimiento de bancos forrajeros para su evaluación, posteriormente se logró la caracterización de la semilla sexual obtenida en dichos bancos. Finalmente se realizó la evaluación de la harina de botón de oro obtenida en la suplementación de ganado de holstein para la producción lechera, siendo este el primer acercamiento bajo esta metodología de uso de la planta en estos sistemas de producción.

A continuación se presentan las hipótesis sometidas a evaluación en esta tesis:

- El crecimiento y producción de biomasa de botón de oro (***T. diversifolia***) durante su primer ciclo productivo, no se afecta cuando se establece el cultivo a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantada a campo.
- Es posible definir un método para la obtención de la semilla sexual de botón de oro deshidratada para su posterior empleo en el establecimiento de bancos forrajeros.
- La composición química de botón de oro (***T. diversifolia***) y el contenido de taninos totales y de fenoles totales, no se afectan cuando se cosecha el forraje a partir de plantas obtenidas mediante siembra en semilleros y luego trasplantada a campo.
- La inclusión de niveles crecientes de botón de oro (***T. diversifolia***) en el suplemento alimenticio de vacas holstein en segundo tercio de lactancia no afecta el consumo de materia seca, la producción y la calidad de la leche.
- La inclusión de niveles crecientes de botón de oro (***T. diversifolia***) en el suplemento alimenticio de vacas holstein en lactancia media no afecta la relación beneficio costo.

Capítulo 2.

Marco teórico

Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras

En este capítulo se realiza una revisión de literatura sobre el uso potencial del botón de oro en la alimentación de vacas lecheras y de sus posibles efectos sobre la producción de leche, el medio ambiente y sobre el rendimiento económico en ganaderías de trópico alto, zona donde se realiza principalmente la explotación lechera en Colombia.

Una versión de este capítulo se publicó como:

GALLEGO et al.: Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* en vacas lecheras, Agron. Mesoam. 25(2):393-403. 2014. ISSN: 2215-3608

Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras

2.1 Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar el uso potencial de la *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (botón de oro) en la alimentación de vacas lecheras en el trópico alto colombiano. Se eligieron términos clave para la búsqueda de información y a partir de ellos se abordaron y analizaron diferentes publicaciones, permitiendo un acercamiento a la problemática propuesta. En estos sistemas de producción típicos del trópico alto en Colombia, el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) contribuye con el mayor aporte en la ración del ganado y debido al alto N, la baja fibra y materia seca, lleva con frecuencia a balances energéticos negativos en las vacas más productivas, por lo que en muchos casos se sostiene la producción con alimento comercial, compuesto principalmente por cereales y con altos niveles de proteína. Las necesidades nutricionales de este tipo de sistemas productivos están orientados a encontrar estrategias que permitan mejorar la oferta forrajera, en términos de variedad y calidad, disminuir la dependencia de alimentos comerciales o al menos facilitar la inclusión de otros que mejoren el desempeño animal. A partir de este análisis, se evidencia el potencial de *T. diversifolia* en la alimentación de vacas lecheras de alta producción; esta forrajera arbustiva, por su contenido de proteína, carbohidratos solubles y taninos, puede tener un impacto positivo sobre los sistemas de ganadería lechera intensiva y puede incorporarse a suplementos alimenticios.

Palabras clave: forrajeras arbustivas, producción lechera, vacas lecheras en el trópico.

2.2 Abstract

Potential of *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray as forage for the production of dairy cows. The objective of this study was to analyze the potential use of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (Mexican sunflower) in dairy cattle feeding in the Colombian high tropics. Key terms were chosen to search for information and from them this we discussed and analyzed several publications, allowing an approach to the problem proposed. It is common that in the high-tropic dairy farms of Colombia the main component of the cattle's diet is the Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*). Given its characteristics of high levels of Nitrogen, low levels of fiber and dry matter, it is common that this diet causes a negative energetic balance in the most productive cows. In order to sustain production in those cases, sometimes it is required to supplement the forage with commercial rations, which have high protein levels, and are mainly composed by cereals. The nutritional requirements of these production systems demand strategies that allow the improvement and quality of fodder offer, and to reduce the dependence on commercial rations or at least to ease the inclusion of others that improve animal performance. From this analysis, the benefits and potential use of *T. diversifolia* in feeding high producing dairy cows were recognized. Considering the content of protein, soluble carbohydrates and tannins, the forage of this shrub may have a positive impact on intensive dairy farming systems and could have potential to be incorporated into dietary supplements.

Keywords: fodder shrubs, milk production, tropical dairy cows.

2.3 Introducción

En los sistemas ganaderos de trópico alto es tradicional encontrar una base forrajera sustentada en monocultivos de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), con alta utilización de fertilizantes nitrogenados (Carvajal et al., 2012), y en donde generalmente se usan suplementos alimenticios ricos en proteínas y carbohidratos solubles (Rueda et al., 2006). En este tipo de sistemas los ganaderos y técnicos se han preocupado más por la cantidad que por la calidad de la leche (Calderón et al., 2006), lo que ha llevado a un sinnúmero de complicaciones referente al contenido de proteína y grasa lácteas, y a un exceso de nitrógeno en la dieta, con las posibles repercusiones sobre la reproducción de los animales, sin dejar de mencionar los efectos negativos sobre la salud, su bienestar, el medio ambiente y los mayores costos de producción.

Los sistemas ganaderos de trópico alto pueden requerir de profundas transformaciones en el manejo alimenticio, donde se considere la actividad ganadera como un ecosistema, con una utilización más efectiva de los recursos (Mahecha et al., 2002) y de acuerdo con Verdecia et al. (2011), alcanzar resultados positivos económica, social y ambientalmente. La alimentación es el punto más álgido, debido a la alta demanda energética de este tipo de animales para sostener la producción de leche. Sin embargo, en muchos casos no se obtiene un producto con los estándares de calidad deseados (Solarte et al., 2012). La inclusión de suplementos lleva a una mayor intensidad de la actividad ruminal fermentativa, lo que ha sido asociado con impactos negativos sobre la salud animal y el medio ambiente (Carmona et al., 2005).

En el trópico alto colombiano no se cuenta con muchas opciones al momento de elegir especies forrajeras de interés nutricional y que además, cambie el impacto generado por la ganadería; *T. diversifolia*, por su contenido de proteína, carbohidratos solubles (Medina et al., 2009) y la presencia de taninos, puede ayudar a mejorar el balance ruminal en cuanto al aporte de energía y proteína. Lo anterior implica una mayor eficiencia para la transformación del amoníaco en proteína microbiana, lo que a la vez provoca una disminución en los costos energéticos por las menores pérdidas de amoníaco, metano y CO₂ ruminales y una disminución en la contaminación ambiental. Adicionalmente, podría mejorar de manera importante la calidad de la leche obtenida, al mejorar el paso de ácidos grasos de cadena larga (Fuentes, 2009) y de proteínas que sirven de precursores para algunos de los componentes de la leche (Hervás et al., 2001).

Este documento, partiendo de la situación actual del sistema de producción lechera de trópico alto y de la revisión de literatura, plantea como objetivo analizar el uso potencial de la *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (botón de oro) en la alimentación de vacas lecheras en el trópico alto colombiano.

2.4 Métodos

Se realizó una búsqueda amplia de publicaciones en las bases de datos Science Direct y Ebsco y se utilizaron fuentes de información disponibles en internet sobre el uso de botón de oro, se excluyeron aquellos artículos que correspondían a revisión de literatura o meta-análisis. De acuerdo con el área de estudio se clasificaron en trabajos de conservación de suelos, comportamiento agronómico, principios bioactivos, potencial de uso en nutrición animal, de bovinos, de otros rumiantes y de monogástricos; así mismo, se tuvo en cuenta el continente y principales países donde se desarrollaron las investigaciones.

Para la revisión bibliográfica, empleando como términos de búsqueda, en español o sus equivalentes en inglés, "botón de oro", "*Tithonia diversifolia*", "taninos", "vacas lecheras", "suplementación", "silvopastoreo", se utilizaron buscadores como Science Direct, Ebsco, libros relacionados, trabajos de grado o comunicaciones de congresos, sin restricción de fecha o tipo de publicación. Los criterios de búsqueda fueron amplios dado que la información publicada sobre *T. diversifolia* es reducida y no se han reportado muchos estudios de su uso en alimentación de rumiantes. De acuerdo con la información obtenida se abordó la problemática propuesta, logrando caracterizar el sistema típico lechero del trópico alto en Colombia, el manejo alimenticio y el potencial de *T. diversifolia* para ser incluida en el suplemento alimenticio de vacas lecheras de alta producción.

2.5 Avances en investigación sobre *Tithonia diversifolia*

Se hallaron en total 122 publicaciones que trataban el tema de uso del botón de oro, fueron seleccionados 84 (68,85%) artículos por su carácter experimental.

De las publicaciones seleccionadas, la mayor cantidad se enfocaron en el potencial de uso en nutrición animal con un 23,81% y en el área de

principios bioactivos un 21,43%, sobre comportamiento agronómico y conservación de suelos se hallaron 21,43% y 8,33%, respectivamente; en relación a estudios que involucraran ensayos con animales se encontraron 10,71% en monogástricos, 3,57% en bovinos y 10,71% en otros rumiantes.

De acuerdo con la información obtenida y a las principales conclusiones en los artículos analizados, hay una gran tendencia a investigar *T. diversifolia* y su uso potencial en la alimentación animal, la mayoría de estos estudios se basaron en pruebas *in vitro*, enfocados a conocer posibles efectos a nivel ruminal, en relación con la producción de gases y entre ellos de su efecto en la disminución en la producción de metano; en estos artículos se recomienda evaluar el botón de oro en dietas para rumiantes.

Los estudios en nutrición de bovinos son pocos, uno evaluó botón de oro en lechería doble propósito y dos en terneros en crecimiento. Sin embargo, es de resaltar que entre los estudios sobre el potencial nutricional del botón de oro, Rivera et al. (2013), en su estudio *in vitro*, concluyen que bajo un sistema de silvopastoreo, con inclusión de especies forrajeras no tradicionales en dietas bajo condiciones de pastoreo, se puede permitir una disminución en la producción de gases durante la fermentación, ya que *T. diversifolia* alcanzó un 43,3% menor en la producción de gas que *C. clandestinus*, sin afectar su degradabilidad.

América es el continente donde más se ha estudiado esta forrajera con un 57,14% de los trabajos evaluados, seguido de África con un 33,33%.

En Nigeria se reportan el 20,24% de los trabajos considerados en este documento y en cuanto a las investigaciones realizadas por países siguen en su orden Colombia y Cuba con 19,05% y 16,67%, respectivamente. De los trabajos realizados en Cuba el 57,14% se dedicaron a estudiar el comportamiento agronómico y un 35,71% al potencial de uso en nutrición animal. Entre tanto, de los realizados en Colombia 12,5% se destinaron al estudio en nutrición de rumiantes, conservación de suelos y comportamiento agronómico con participaciones iguales del 18,75% y un 37,5% estudiaron su uso potencial en nutrición animal.

Se hace necesario cambiar el manejo de la ganadería hacia sistemas más sostenibles que incluyan los sistemas agroforestales pecuarios

(Murgueitio et al., 2013), esto apoyados de igual manera en lo dicho por Febles y Ruíz (2008), quienes afirman que el estudio integral de los árboles y arbustos es multidisciplinario y multi-institucional, y forma parte de una actividad diversa que es la agroforestería, la cual se encuentra en auge creciente en áreas tropicales y templadas del mundo como una opción para diversificar la ganadería, entre otros beneficios contenidos en los sistemas agroforestales.

2.6 Generalidades de la ganadería especializada de leche en el trópico alto de Colombia

Los sistemas de lechería especializada en Colombia no son ajenos a los cambios globales del sector, en lo referente a los costos de producción y la calidad de la leche (Calderón et al., 2006). Los sólidos totales y su calidad, son los factores que definen las metas para lograr una real competitividad y en el caso de la producción colombiana, alcanzar una mayor participación en el mercado internacional. Colombia en 2010, de acuerdo con PROEXPORT (2011), alcanzó los 6538 millones de litros, ubicándose en el 15° lugar del mundo y el cuarto en Latinoamérica; sin embargo, no alcanza un nivel de participación importante en los mercados internacionales.

La producción de leche en el país se orienta a la obtención de productos de excelente calidad, lo que ha llevado a establecer un sistema de pago de leche cruda al productor, sobre lo cual se generan condiciones necesarias para la toma de decisiones respecto al manejo de los animales, principalmente en lo que se refiere a alimentación. Así, se espera mejorar parámetros como la grasa y proteína láctea, al tiempo que se espera que con cambios importantes en la alimentación del ganado bovino, se disminuyan impactos negativos sobre el medio ambiente.

El panorama actual de la ganadería lechera del trópico alto en Colombia, hace fundamental encontrar alternativas en la alimentación, que garanticen un mejor balance en la actividad ruminal para maximizar el aporte energético y proteico, disminuir la presentación de problemas reproductivos y de salud, minimizar emisiones perjudiciales para el ambiente y lograr un mejor posicionamiento de la producción láctea colombiana en los mercados nacional e internacional.

En general, el manejo de la alimentación en estas ganaderías, no ha logrado definir estrategias realmente viables para la suplementación alimenticia, especialmente en las vacas de mayor producción, y apuntar

al cumplimiento de las metas trazadas por diversos entes encargados de definir las políticas de la ganadería en Colombia.

La búsqueda de posibles alternativas es el principal trabajo que tienen actualmente los diferentes grupos de investigación en el ámbito local y nacional. Carmona et al. (2005), Galindo et al. (2011), Mahecha, et al. (2002), Mahecha et al. (2007), entre otros autores, consideran que el uso de especies forrajeras arbustivas influye positivamente sobre la actividad ruminal y por tanto, disminuye la emisión de metano, aumenta el paso de nutrientes hacia el duodeno y el aporte de energía al rumiante. No obstante, en estas lecherías no se cuenta a gran escala con la implementación de sistemas silvopastoriles, bien sea para el consumo directo, el corte y acarreo o la inclusión de materiales forrajeros alternativos en los suplementos alimenticios.

Las principales dificultades de las ganaderías especializadas se originan en la demanda energética por parte de las vacas de mayor producción. Con el afán de dar solución a este aspecto, las vacas reciben alta cantidad de suplementos de tipo comercial, con alto nivel de proteína y carbohidratos solubles, llevando a alteraciones en la actividad ruminal, lo que significa mayor producción de metano, cambios en los niveles de grasa y proteína en la leche y a mayores niveles de nitrógeno ureico (Galvis et al., 2003), que estarían indicando un importante desbalance entre energía y nitrógeno en el rumen.

2.7 Características de la *T. diversifolia*

La *T. diversifolia* (botón de oro), originaria de América Central ha sido introducida en el trópico en todo el mundo (Maina et al., 2012); esta especie tiene muchas cualidades que permiten clasificarla como planta forrajera de un alto potencial para la producción animal, entre las que se pueden mencionar su fácil establecimiento, resistencia al corte frecuente, tolerancia a suelos pobres, una producción aproximada de 55 toneladas de materia seca por hectárea por año (Nieves et al., 2011).

El rendimiento productivo estará determinado, como en el resto de los cultivos, por las condiciones en que se desarrolle esta especie, así como por el manejo que reciba durante su establecimiento y explotación; la adecuada labor de siembra debe estar en función del tipo de material seleccionado para esta actividad, sin embargo para las condiciones de Colombia, más aun para el trópico de altura, poco se conoce sobre el

crecimiento y desarrollo de esta planta, así como de la producción de biomasa y su calidad nutricional.

El establecimiento de *T. diversifolia* se ha realizado de manera tradicional mediante el empleo de estacas, aunque esta especie puede reproducirse naturalmente a partir de semillas (Akinola et al., 2000), sin embargo existe poca información que referencie esta estrategia para su establecimiento a nivel productivo. El desconocimiento de técnicas sencillas para la propagación sexual del botón de oro y la baja oferta de material asexual (estacas) para iniciar la plantación, han sido los principales cuellos de botella en el establecimiento de *T. diversifolia* (Romero et al., 2014).

En cuanto al establecimiento de botón de oro mediante el uso de estacas, González et al. (2013), encontraron los mejores resultados al acostar este material en el fondo del surco empleando la parte media de los tallos, de esta forma se facilita la obtención de plantas con mayor volumen de biomasa. Medina et al. (2009), no encontraron diferencias significativas en cuanto al prendimiento, sobrevivencia de plantas de *T. diversifolia* cuando se compararon la longitud, el diámetro y el número de yemas de la estaca sembrada y concluyeron que los mejores resultados se dieron cuando emplearon para la siembra estacas de 10 y 20 cm de largo, con 1 a 3,9 cm de grosor y 5 yemas.

Gualberto et al. (2010), establecieron parcelas mediante estacas obtenidas de la parte basal (más lignificada) y de la parte media a diferentes distancias de siembra; cuando sembraron a distancias de 0,5 x 0,75 m, encontraron producciones de 3,43, 8,97 y 19,74 t de MS ha para prefloración, floración y pos floración, respectivamente.

La calidad nutricional puede verse influenciada principalmente por el estado vegetativo en que se coseche el forraje, de acuerdo con Gualberto et al. (2010), *T. diversifolia* cuando se estableció por estacas presentó valores de 12,35%, 10,31% y 13,81% para PB, 29,84%, 33,38% y 33,46% para FB, para los estados de prefloración, floración y pos floración, respectivamente.

Se conoce muy poco en lo referente al uso de semilla sexual para el establecimiento de cultivos de botón de oro. Agboola et al. (2006), realizaron pruebas de germinación con semillas frescas y almacenadas y encontraron un bajo porcentaje de germinación (30%), pero al someterlas a tratamientos de calor húmedo entre 80°C y 100°C, la

germinación aumentó a cerca del 70%. Romero et al. (2014), depositaron ramas con flores sobre un sustrato preparado para este fin, donde pasados 10 días del montaje encontraron las primeras semillas germinadas, pero debido a la falta de sincronía en la germinación, recomiendan entresacarlas y trasplantarlas a bolsas de vivero o llevarlas un lote preparado para su cultivo.

Durante la realización de este trabajo no se encontraron reportes de otros autores en relación con la sobrevivencia de plantas obtenidas por semilla sexual y trasplantadas a campo ni tampoco sobre la producción de biomasa o la calidad nutricional bajo este mismo método de siembra.

La *T. diversifolia* ha sido reconocida entre los productores como una planta con un importante valor nutricional, principalmente por su capacidad para la acumulación de nitrógeno (Medina et al., 2009, Verdecia et al., 2011) y por el nivel de fibra bruta, siendo este del 31,6% a los sesenta días de edad (Roa et al., 2010), características que dejan al botón de oro en condiciones nutricionales similares a las de otras plantas arbustivas destinadas a la producción forrajera en el trópico alto colombiano, entre las que se pueden mencionar el nacedero (*Trichanthera gigantea*), san joaquín (*Malvaviscus penduliflorus*), morera (*Morus alba*), chachafruto (*Erythrina edulis*), aliso (*Alnus acuminata*).

En el Cuadro 2.1, se presentan algunos datos de las características nutricionales del botón de oro y otras plantas forrajeras arbustivas de trópico de altura.

Cuadro 2.1 Composición nutricional de algunas forrajeras arbustivas de uso en la alimentación de rumiantes.

Planta forrajera	Materia Seca (%)	Proteína bruta (%)	Fibra Detergente Neutro (%)	Fibra Detergente Ácido (%)
<i>Thitonia diversifolia</i>	19,1	24,13	38,62	34,48
<i>Trichanthera gigantea</i>	20,1	21,2	43,66	41,66
<i>Malvaviscus penduliflorus</i>	19,5	15,92	43,78	24,58
<i>Morus alba</i>	24,6	24,77	33,55	32,7
<i>Erythrina edulis</i>	18,4	26,52	49,64	32,18
<i>Alnus acuminata</i>	23,6	16,88	35,79	31,06

Fuente: Naranjo y Cuartas, 2011.

La composición nutricional del botón de oro puede presentar variaciones en función de las condiciones del suelo donde se cultive, así como de otros factores ambientales, siendo de especial importancia considerar el efecto de las temporadas secas o lluviosas a lo largo del año.

En el Cuadro 2.2 se presenta la composición química, la digestibilidad *in vitro* y el perfil polifenólico de la *T. diversifolia* a los sesenta días de edad en dos épocas del año.

El botón de oro presenta niveles altos de carbohidratos solubles comparada con otras forrajeras (Medina et al., 2009), es alta en minerales y la presencia de metabolitos secundarios anti-nutritivos, especialmente taninos condensados, parece no ser alta. Los animales consumen la planta completa, con preferencia por hojas y flores (Maina et al., 2012).

Cuadro 2.2. Composición nutricional, digestibilidad *in vitro* (DIV), digestibilidad de la pared celular (DPC) y perfil polifenólico de *Tithonia diversifolia* a los 60 días de edad en periodos lluvioso y poco lluvioso.

Parámetro	Periodo lluvioso	Periodo poco lluvioso
Materia seca (%)	19,77	18,81
Proteína bruta (%)	28,95	27,49
Fibra detergente neutro (%)	43,66	40,44
Fibra detergente ácido (%)	27,69	24,11
Lignina detergente ácido (%)	6,62	7,15
Celulosa (%)	21,08	16,96
Hemicelulosa (%)	15,97	16,33
Contenido celular (%)	56,34	59,56
Digestibilidad <i>in vitro</i> materia seca (%)	75,28	78,59
Digestibilidad de la pared celular (%)	79,52	74,61
Taninos totales (gr/kg)	0,56	2,17
Taninos condensados totales (gr/kg)	14,24	10,45
Taninos condensados ligados a la fibra (gr/kg)	11,32	8,76
Taninos condensados libres (gr/kg)	2,91	1,68

Fuente: adaptado de Verdecia *et al.* (2011)

En cuanto a los metabolitos secundarios, Galindo et al. (2011), mencionan que la presencia de fenoles totales, taninos, saponinas, entre otros compuestos es variable y de acuerdo con Márquez y Suárez (2008) y Dardon y Durán (2011), en niveles bajos no afectan el consumo ni la digestibilidad de la materia seca.

En lo referente a carbohidratos solubles esta planta presenta valores de 7,6% (Pérez et al., 2009), mientras Medina et al., (2009) menciona que este valor varía entre 9,65% y 12,92%, con niveles de almidón que varían entre 4,55% y 6,73%, valores que pueden estar influenciados de manera importante por el estado de maduración de la planta. Así mismo, la edad de la planta o la parte de la planta de la que se obtenga el material, influyen en el contenido de metabolitos secundarios. De acuerdo con Maina et al. (2012), el nivel de taninos extractables totales puede estar entre 29,2 y 37,7 gramos por kilogramo de materia seca, para hojas maduras y jóvenes, respectivamente.

De acuerdo con Naranjo y Cuartas (2011), el botón de oro presenta un buen balance entre proteína y compuestos fibrosos, en adición a lo manifestado por Galindo et al. (2011) con respecto a los posibles estímulos para una mayor actividad de la flora celulolítica y menor de la metanogénica, se puede pensar en el botón de oro como un forraje con buen potencial para la alimentación de vacas lecheras de alta producción.

2.8 Uso potencial de la *T. diversifolia* en sistemas lecheros de trópico alto

De acuerdo con Gualberto et al. (2010), las publicaciones sobre el valor nutritivo y alimenticio de la *T. diversifolia* son escasas, sin embargo los estudios reportados permiten hacer inferencias sobre la potencialidad de este forraje, que en términos generales se caracteriza por presentar una alta aceptabilidad y altos niveles de proteína, además de su rápida degradabilidad y buen nivel de fermentación ruminal. Lo anterior coincide con los hallazgos de Medina et al. (2009), quienes reportaron valores para la digestibilidad ruminal entre 68,93% y 73,73%, refiriendo que no se vio afectada por el contenido de metabolitos secundarios de la planta.

De acuerdo con la composición química y la digestibilidad, el botón de oro podría mejorar la sincronización entre energía y nitrógeno que ingresan al rumen y beneficiar la eficiencia en la fermentación, para lo cual muestra gran potencial (La O et al., 2012). Recientemente se ha incrementado su uso para silvopastoreo o forraje de corte y de acuerdo

con Mahecha et al. (2007) se puede incorporar en el suplemento de vacas lecheras F1 (primera generación) hasta un nivel de 35% sin que se afecte su producción.

Los rumiantes producen alrededor del 23% del metano global (Galindo et al., 2011), como producto de la fermentación de carbohidratos. Sin embargo, Galindo et al. (2012) señalan que el empleo de forrajeras, entre las que se menciona el botón de oro, puede influir mejorando la actividad ruminal. Así mismo, de acuerdo con Carmona et al. (2005), esto podría reflejarse en una reducción de metano por unidad de proteína animal producida, como resultado del mejor balance entre los componentes de la dieta y a la presencia de metabolitos secundarios como los taninos.

Cuando se evaluaron diferentes materiales forrajeros seleccionados por su contenido de saponinas y taninos, en el caso de *T. diversifolia* no encontraron efectos negativos sobre la población de bacterias viables totales pero si una disminución de hasta tres veces en la presencia de arquea metanógena y una reducción significativa en los protozoos (Delgado et al., 2012). Resultados similares fueron obtenidos por Galindo et al. (2011), quienes evaluaron el efecto de botón de oro sobre pobladores ruminales en condiciones *in vitro*, encontrando que al incluir el 10% de la planta, se aumentaba la población celulolítica y que el 20% no la modificaba; para los protozoos la inclusión del 10% no manifestó cambios pero si la del 20% causando una alta reducción, no encontrando efectos sobre la población de hongos ruminales.

En su estudio *in vitro*, Galindo et al. (2011) encontraron que la inclusión del 10% y 20% de *T. diversifolia* produjo reducciones en la población de metanógenos ruminales. La información anterior, muestra efectos potenciales de la *T. diversifolia* para reducir la emisión de metano. De acuerdo con Galindo et al. (2008) esto podría ser atribuido posiblemente a la presencia de taninos y otros metabolitos en la planta.

Cuando se utilizan follajes que suministren fuentes de proteínas, compuestos tales como amoníaco, aminoácidos, péptidos y ácidos grasos de cadena corta ramificada serán más disponibles para los microorganismos celulolíticos favoreciendo la degradación de la fibra (Galindo et al., 2008), lo que también justifica la mayor capacidad de fermentación de la materia seca y, por lo tanto, una rápida disponibilidad de los nutrientes para el rumiante, situación que ya había sido reportada por Mahecha y Rosales (2005).

Los taninos están asociados con la reducción en la producción de metano (Galindo et al., 2011), concordando con lo dicho por Hess et al. (2006), quienes además agregan que los taninos condensados forman enlaces con proteínas, lo que permitiría incrementar su flujo hacia el duodeno, donde será disponible para el animal debido al cambio de pH y a la acción enzimática.

Ante el deseo de mejorar el contenido de proteína láctea, y por lo tanto aumentar la calidad de la leche, es importante explorar nuevas estrategias en los sistemas de alimentación; que contribuyan a incrementar la eficiencia en la fermentación y de esta manera asegurar niveles adecuados de amonio ruminal, ayudando a mejorar la actividad para la síntesis de proteína bacteriana y sobrepasante (Hervás, et al., 2000). Ambos aspectos impactan de manera positiva la disponibilidad de aminoácidos para el rumiante lo que puede generar un mejor nivel proteico en la leche (Hervás et al., 2001).

En un estudio con vacas holstein alimentadas con *Lotus corniculatus*, como fuente de taninos condensados (Min et al., 2003), reportan un incremento en la producción de leche de un 60% con respecto a vacas alimentadas con Ray Grass perenne (*Lolium perenne*), obteniéndose también incrementos del 10% en la concentración de proteína de la leche. En el mismo sentido, y trabajando con vacas F1, Mahecha et al. (2007) encontraron valores de 3,5% y 3,52% para la proteína en la leche cuando no se incluyó botón de oro en el suplemento y, 3,8% y 3,84% cuando el suplemento incluyó un 35% de botón de oro, para los ordeños de la mañana y la tarde respectivamente, sin reportar diferencias significativas.

La suplementación con leguminosas o con forrajeras proteicas mejora el aporte de nitrógeno al rumen, pero para maximizar la eficiencia son necesarias buenas fuentes de carbohidratos tanto solubles como estructurales; la *T. diversifolia* posee una composición en cuanto a la proteína y carbohidratos que la hacen interesante desde este punto de vista, en comparación con otras especies forrajeras arbustivas. Essiett y Akpan (2013), reportan una composición para tallos de *T. diversifolia* de 9,62, 70,35 y 15,82%, en proteína cruda, carbohidratos y fibra cruda respectivamente, aunque en su estudio no hacen referencia ni a la edad ni a la altura de corte de la planta.

La composición promedio de la harina de hojas de botón de oro, parece adecuada para usarse como concentrado proteico en rumiantes

(Ekeocha, 2012). Este autor indica que puede ser un buen sustituto de materias primas como el salvado de trigo, por sus aceptables niveles de fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, por lo que el animal podría obtener la energía que requiere. Este mismo autor reporta valores promedios de 16,33, 44,38 y 21,80%, para proteína cruda, extracto libre de nitrógeno y fibra cruda respectivamente; la harina de hojas de botón de oro se obtuvo de plantas cosechadas a 50 cm de altura luego de cuatro semanas de rebrote.

El requerimiento de amoníaco (NH_3) para la síntesis de proteína microbiana depende de las especies de bacterias (Reynal y Broderick, 2005) y de las características de la dieta. La mayor parte de estas bacterias pueden utilizar NH_3 como fuente de N, pero a algunas como las celulolíticas les resulta esencial (Guada, 1996). Bajas concentraciones de NH_3 pueden afectar la actividad proteolítica limitando el crecimiento microbiano total, de acuerdo con Guada (1996) y Restrepo y Suárez (2005) entre el 50 y 95% del N bacteriano procede del NH_3 ; sin embargo, la sobrealimentación proteica puede afectar los rendimientos productivos, situación asociada, según Olmos y Broderick (2006), al bajo nivel energético frecuente en lecherías de trópico alto.

T. diversifolia presenta entre 20,37 y 23,37% de PC y entre 9,65 y 12,92% de carbohidratos solubles totales (Medina et al., 2009), lo que indica un impacto positivo en la alimentación de vacas de alta producción lechera. Lo anterior soportado en que aminoácidos y péptidos mejoran la eficiencia microbiana en la síntesis proteica y en que el metabolismo del nitrógeno está determinado por la capacidad de las bacterias para utilizar el NH_3 (Guada, 1996), esto en presencia de cantidades adecuadas de energía, lo que hace entonces suponer posibles efectos de *T. diversifolia* sobre la sincronización de N y energía que ingresan al rumen.

Cuando falta energía fermentable o la proteína cruda es excesiva, todo el NH_3 producido no puede ser convertido a proteína microbiana, atravesando la pared del rumen para llegar al hígado donde se convierte en urea, la cual puede volver al rumen vía salivar o ser excretada en la orina o incluso una parte ser retenida y aparecer como nitrógeno ureico en leche (MUN). Una deficiencia energética motiva una deficiencia proteica, así la flora microbiana no puede seguir creciendo y utiliza los aminoácidos para obtener energía produciendo un exceso de NH_3 , lo que implica mayor costo energético, en detrimento de la eficiencia productiva y reproductiva del animal y en mayor excreción de nitrógeno a los suelos (Giraldo et al., 2005).

La proteína degradada en el rumen condiciona la cantidad de proteína bacteriana sintetizada, la cual al pasar al intestino constituye la proteína de paso "natural", con calidad constante y que asociada con la no degradada en rumen hace el aporte de aminoácidos requeridos por el animal. Debido a la presencia de taninos, se puede esperar que se optimice el uso de la proteína tanto en el rumen como en el duodeno (McSweeney et al., 2001; Min et al., 2003).

Para maximizar este efecto es conveniente usar mezclas de forrajes con y sin taninos (Hess et al., 2006), así se tendrá una parte de proteínas que se fermente y otra que no, lo que evita pérdidas de amonio ruminal al reducir la degradación de proteínas e incrementar su flujo al duodeno (Frässler y Lascano, 1995; Flores, 1998), lo que puede reducir el nivel de nitrógeno ureico en la leche (MUN). Por la estrecha relación del MUN con el amonio producido en el rumen, Baker et al. (1995) y Hof et al. (1997) afirman que el MUN puede ser usado como índice para evaluar la eficiencia de utilización del nitrógeno en vacas lecheras.

Las praderas de gramíneas sobre fertilizadas con nitrógeno pueden tener bajos niveles de carbohidratos fermentables, fibra detergente neutra y pectina y que bajo estas condiciones el exceso de proteína no puede ser utilizado por los microorganismos ruminales (Galvis et al., 2003).

La introducción de forrajeras proteicas puede mejorar la situación frente a la presencia de MUN, estando de acuerdo con lo reportado por Hess et al. (2006), quienes después de estudiar vacas de doble propósito en pasturas asociadas con leguminosas o en sistemas silvopastoriles, afirman que la relación energía proteína es el factor que más influye sobre el MUN. Lykos et al. (1997), encontraron una relación negativa entre el contenido energético y el de MUN. Al mantener la proteína de la dieta, la densidad energética y la producción de leche diaria aumentaron y el MUN descendió.

No encontraron diferencias en la cantidad y calidad de la leche al incluir hasta un 35% de *T. diversifolia* en el suplemento de vacas holstein × cebú (Mahecha et al., 2007), demostrando la bondad de esta planta dadas sus cualidades nutricionales, y también por la gran estabilidad productiva obtenida entre épocas climáticas, indicando la viabilidad de uso para la sostenibilidad productiva de estos sistemas.

Para el presente estudio, no se encontraron investigaciones donde se haya evaluado el efecto de su utilización en vacas lecheras de alta producción o en condiciones de trópico alto, lo cual deja abierto un gran panorama frente a la necesidad de conocer los posibles efectos de la inclusión del botón de oro sobre la actividad ruminal, sobre el paso de proteína hacia el duodeno, la producción y la calidad de la leche y asociado a esto, aspectos de carácter ambiental relacionados con la producción de metano y el retorno de nitrógeno al suelo.

2.9 Consideraciones finales

El uso de la *T. diversifolia* en la producción de leche es relevante debido a sus nutrientes y la presencia de taninos, y derivado de esto, por la posible mejoría de la fermentación, lo que implica una mayor eficiencia en el uso de los nutrientes de la dieta. Sin embargo, aún no se referencian estudios que evidencien realmente todos los beneficios que se podrían tener al usar esta planta en la alimentación de vacas lecheras.

El botón de oro se plantea entonces como alternativa alimenticia en las dietas para lechería de trópico alto, basado en que investigaciones de diversa índole, realizadas con *T. diversifolia* recomiendan evaluar la inclusión de esta planta en la dieta de los animales y tener un mejor conocimiento del impacto que se pueda dar desde lo productivo, ambiental y económico.

Para mejorar la rentabilidad de los sistemas productivos, dadas las condiciones actuales de la ganadería lechera en Colombia, se deben igualar las condiciones de mercados internacionales, y así permitir un mayor nivel de competitividad en aspectos como la calidad y la cantidad de leche producida, lo que redundará tanto en la posibilidad de acceder a mercados externos como a mejorar el consumo interno de leche.

De los factores envueltos en la empresa ganadera, el más importante es el componente de la alimentación y dentro de este, lo relacionado con las gramíneas, leguminosas y arbóreas ya que constituyen la principal fuente de alimentación de los rumiantes; es evidente entonces que con el uso de forrajeras arbustivas, y especialmente con botón de oro, se pueden mejorar en forma económica y ecológica los parámetros de producción animal.

La *T. diversifolia* se constituye como una alternativa para mejorar las condiciones de manejo en los sistemas de lechería de trópico alto en

Colombia y puede optimizar la producción de leche y su calidad, así como el comportamiento reproductivo, lo cual es necesario evaluar científicamente.

2.10 Literatura citada

Baker, L., J. Ferguson, y W. Chalupa. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2424.

Agboola, D., W. Idowu, y M. Kadiri. 2006. Seed germination and seedling growth of the Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Compositae) in Nigeria, África. *Rev. Biol. Trop.* 54:395-402.

Akinola, J., A. Larbi, G. Farinu y A., Odunsi. 2000. Seed treatment methods and duration effects on germination of wild sunflower. *Expl Agric.* 36:63-69.

Calderón, A., F. García, y G. Martínez. 2006. Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Rev. MVZ Córdoba* 11:725-737.

Carmona, J., D. Bolívar, y L. Giraldo. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 18:49-63.

Carvajal, T., L. Lamela, y A. Cuesta. 2012. Evaluación de las arbóreas *Sambucus nigra* y *Acacia decurrens* como suplemento para vacas lecheras en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Rev. Pastos y Forrajes* 35:417-430.

Dardon, V., y M. Durán. 2011. Cuantificación espectrofotométrica de taninos y análisis bromatológico proximal de cuatro diferentes mezclas de forrajes a base de gramíneas y leguminosas. Trabajo de graduación Lic. Química y Farmacia, Univ. El Salvador, San Salvador. SAL.

Delgado, D., J. Galindo, R. González, N. González, I. Scull, L. Dihigo, J. Cairo, A. Aldama, y O. Moreira. 2012. Feeding of tropical trees and shrub foliages as a strategy to reduce ruminal methanogenesis: studies conducted in Cuba. *Trop. Anim. Prod.* 44:1097-1104.

- Essiett, U., y E. Akpan. 2013. Proximate composition and phytochemical constituents of *Aspilia africana* (Pers) C. D. Adams and *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray Stems (Asteraceae). Bull. Env. Pharmacol. Life Sci. 2(4):33-37.
- Ekeocha, A. 2012. Performance of growing west african dwarf ewe fed mexican sunflower leaf meal based diets. J. Rec. Adv. Agri. 1:69-76.
- Fässler, O., y C. Lascano. 1995. The effect of mixtures of sun-dried tropical legumes on intake and nitrogen balance by sheep. Trop. Grasslands 29:92-96.
- Febles, G., y T. Ruíz. 2008. Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles. AIA 12(1):5-27.
- Flores, O.I. 1998. Contribución ecológica de especies de leñosas sobre la utilización de nitrógenos bovinos y la fertilidad del suelo. Tesis MSc, CATIE, Turrialba, CRC.
- Fuentes, M. 2009. Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche a través de la manipulación nutricional en vacas lecheras: el papel del rumen. Tesis Ph.D. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, ESP.
- Galindo, J., N. González, D. Delgado, A. Sosa, Y. Marrero, R. González, A. Aldana, y O. Moreira. 2008. Efecto modulador de *Leucaena leucocephala* sobre la microbiota ruminal. Zootecnia Trop. 26:249-252.
- Galindo, J., N. González, A. Sosa, T. Ruíz, V. Torres, A. Aldana, H. Díaz, O. Moreira, L. Sarduy, y A. Noda. 2011. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones *in vitro*. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 45:33-37.
- Galindo, J., N. González, I. Scull, Y. Marrero, A. Sosa, A. Aldana, O. Moreira, D. Delgado, T. Ruiz, G. Febles, V. Torres, O. La O, L. Sarduy, A. Noda, y O. Achang. 2012. Efecto de *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Albizia lebeck* (L.) Benth y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (material vegetal 23) en la población de metanógenos y en la ecología microbiana ruminal. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 46:273-278.

- Galvis, R., H. Correa, y N. Ramírez. 2003. Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 16:237-248.
- Giraldo, L., G. Medina, y F. Osorio. 2005. Utilización del nitrógeno por los rumiantes. En: M. Pabón, y J. Ossa, editores, *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca*. Fondo Editorial Biogénesis, p. 45-66. Medellín, COL.
- González, D., T. Ruiz, H. Díaz. 2013. Sección del tallo y forma de plantación: su efecto en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*. *Rev. Cubana Cienc. Agrícolas.* 47:425-429.
- Guada, J.A. 1996. XII Curso de especialización FEDNA. Características del sistema de Cornell (CNCPS) como modelo de valoración proteica y energética para rumiantes. Noviembre 7 y 8 de 1996. FEDNA, Madrid, ESP.
- Gualberto, R., O. Souza, N. Costa, C. Braccialli, y L. Gaion. 2010. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray. *Nucleus* 7(2):135-149.
- Hervás, G., P. Frutos, E. Serrano, A. Mantecón, y F. Giráldez. 2000. Effect of tannic acid on rumen degradation and intestinal digestion of treated soya bean meals in sheep. *J. Agr. Sci.* 135:305-310.
- Hervás, G., P. Frutos, y A. Mantecón. 2001. Protección de suplementos proteicos frente a la degradación ruminal: utilización de taninos. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/5112/1/Herv%C3%A1s%20et%20al_2001%20\(Divulgaci%C3%B3n\).pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/5112/1/Herv%C3%A1s%20et%20al_2001%20(Divulgaci%C3%B3n).pdf) (Consultado 9 nov. 2013).
- Hess, H.D., J. Gómez, y C.E. Lascano. 2006. Segundo taller taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia. Producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas con mezclas de leguminosas con y sin taninos. 30 de noviembre a 1 de diciembre de 2006. Publ. CIAT 352, Compuimagen. Palmira, COL.
- Hof, G., M. Vervoorn, P. Lenaers, y S. Tamminga. 1997. Milk urea nitrogen as a tool to monitor protein nutrition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:3333-3340.

- La O, O., H. González, A. Orozco, Y. Castillo, O. Ruíz, A. Estrada, F. Ríos, E. Gutiérrez, H. Bernal, D. Valenciaga, B. Castro, y Y. Hernández. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. Rev. Cubana Cienc. Agr. 46:47-56.
- Lykos, T., G. Varga, y D. Casper. 1997. Varying degradation rates of total nonstructural carbohydrates: Effects on ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production and composition in high producing Holstein cows. J. Dairy Sci. 80:3341-3355.
- Mahecha, L., L.A. Gallego, y F.J. Peláez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. Rev. Colomb. Cienc. Pecu. 15:213-225.
- Mahecha, L., y M. Rosales. 2005. Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. Livestock Res. Rural Dev. 17(9):100. <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm> (Consultado 9 nov. 2013).
- Mahecha, L., J. Escobar, J. Suárez, y L. Restrepo. 2007. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). Livestock Res. Rural Dev. 19(2):16. <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm> (Consultado 9 nov. 2013).
- Maina, I., S. Abdulrazak, C. Muleke, y T. Fujihara. 2012. Potential nutritive value of various parts of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) as source of feed for ruminants in Kenya. J. Food Agric. Environ. 10(2):632-635.
- Márquez, D., y A. Suárez. 2008. El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. Rev. Medicina Veterinaria 16:87-109.
- McSweeney, C., B. Palmer, D. McNeill, y D. Krause. 2001. Microbial interactions with tannins – nutritional consequences for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 91:89-93.

- Medina, M., D. García, E. González, L. Cova L, y P. Morantinos. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop.* 27:121-134.
- Min, B., T. Barry, G. Attwood, y W. McNabb. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages. *Rev. Anim. Feed Sci. Technol.* 106:3-19.
- Murgueitio, E., J. Chará, A. Solarte, F. Uribe, C. Zapata, y J. Rivera. 2013. Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 26:313-316.
- Naranjo, J., y C. Cuartas. 2011. Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *Rev. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 6(1):9-19. <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1489/993> (Consultado 22 ene. 2014).
- Nieves, D., O. Terán, L. Cruz, M. Mena, F. Gutiérrez, y J. Ly. 2011. Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14:309-314. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915703030> (Consultado 9 nov. 2013).
- Olmos, J., y G. Broderick. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on ruminal nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1694-1703.
- Pérez, A., I. Montejo, J., Iglesias, O. López, G., Martín, D., García, I., Milián, y A., Hernández. 2009. *Tithonia diversifolia* (Helms.) A. Gray. *Rev. Pastos y Forrajes* 32:1-15.
- PROEXPORT (Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones). 2011. Sector lácteo en Colombia. <http://www.portugalcolombia.com/wp-content/uploads/2012/08/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf> (Consultado 9 nov. 2013).
- Restrepo, J., y M. Suárez. 2005. Principales factores que afectan la actividad celulolítica bacteriana en rumiantes. En: M. Pabón, y J. Ossa,

editores, Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca. Fondo Editorial Biogénesis, Colombia, Medellín. p. 15-43.

Reynal, S., y G. Broderick. 2005. Effect of dietary level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:4045-4064.

Roa, M., C. Castillo, y E. Téllez. 2010. Influencia del tiempo de maduración en la calidad de ensilajes con forrajes arbóreos. *Sistemas de Producción Agroecológicos* 1(1): 63-73. http://www.sistemasagroecologicos.co/art/vol1_no1_p63-73_roa.pdf (Consultado 26 ene. 2014).

Romero, O., A. Galindo, E. Murgueitio, Z. Calle. 2014. Primeras experiencias en la propagación del botón de oro (*Tithonia diversifolia*, Hemsl. Gray) a partir de semillas para la siembra de sistemas silvopastoriles intensivos en Colombia. *Trop. and subtropical Agroecosystems* 17(2014):525-528.

Rueda, S., L. Taborda, y H. Correa. 2006. Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 19:27-38.

Solarte, C., C. Rosero, y Y. Eraso. 2012. Comparación de metodologías moleculares para identificar el gen de la kappa caseína en ganado Holstein. *Rev. MVZ Córdoba* 17:2878-2883.

Verdecia, D., J. Ramírez, I. Leonard, Y. Álvarez, Y. Bazán, R. Bodas, S. Andrés, J. Álvarez, F. Giráldez, y S. López. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Caucho. *REDVET* 12(5). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf> (Consultado 9 nov. 2013).

Capítulo 3.

Desarrollo de *Tithonia diversifolia* bajo diferentes métodos de siembra en trópico alto y caracterización de la semilla sexual obtenida en el estudio.

Este capítulo corresponde al primer objetivo específico planteado:

Evaluar crecimiento y producción de biomasa de botón de oro (*T. diversifolia*) durante su primer ciclo productivo, a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y trasplantadas a campo, y caracterizar la semilla sexual obtenida en el estudio.

Inicialmente y de modo descriptivo, se buscó definir un método para la siembra del botón de oro mediante semilla sexual, lo que permitió determinar un protocolo y obtener las plantas para el estudio. Posteriormente se hizo el seguimiento para la descripción del crecimiento de las plantas establecidas por los tres diferentes métodos y finalmente se realizó la evaluación agronómica y caracterización de la semilla sexual obtenida en las parcelas experimentales.

Se planteó como hipótesis que no se presentan diferencias estadísticas en el crecimiento y producción de biomasa de botón de oro (*T. diversifolia*) durante su primer ciclo productivo, a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantada a campo, lo que fue comprobado mediante el desarrollo del respectivo objetivo específico. Asimismo, se propone que es posible definir un método para la obtención de la semilla sexual de botón de oro deshidratada para su posterior empleo en el establecimiento de bancos forrajeros.

Una versión de este capítulo se encuentra en evaluación en la Revista Agronomía Mesoamericana.

Crecimiento y desarrollo de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo diferentes métodos de siembra en condiciones de trópico alto

3.1 Resumen

El objetivo fue evaluar crecimiento y producción de biomasa de botón de oro (*T. diversifolia*) durante su primer ciclo productivo, a partir de plantas obtenidas mediante estacas (Pes), semilla sexual manejada *in vitro* (Piv) y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantada a campo (Psx) y caracterizar la semilla sexual obtenida. El estudio se realizó en la finca Santa Martha, municipio de Guarne (Antioquia-Colombia), ubicada a 2453 msnm, entre septiembre de 2013 y abril de 2014. La primera fase permitió definir un protocolo de siembra para semilla sexual, el que se aplicó con éxito en la segunda fase del estudio, fase que evaluó el crecimiento y producción de biomasa en 8 parcelas de 20 m² para cada método de siembra desde el corte de uniformización hasta la primera cosecha el día 56. Se obtuvieron valores para altura (70,1, 65,3 y 69,9 cm), peso de planta completa (1387,8, 1066,6 y 1211,5 g), peso de tallos (712,9, 551,9 y 625,3 g), peso de hojas (674,9, 514,8 y 586,3 g), relación hojas:tallos (0,95, 0,95 y 0,96) y materia seca ton/ha/año (19,5, 14,9 y 17,7), para Pes, Piv y Psx, respectivamente. Se logró hacer la caracterización de la semilla sexual obtenida durante el estudio, se encontraron 13,59 semillas en promedio por cada 0,1g del material obtenido. Los resultados permiten recomendar la semilla sexual por siembra directa en semilleros con trasplante a campo como método para el establecimiento de *T. diversifolia*, bajo las condiciones evaluadas. Sin embargo, se requiere de más estudios que permitan mejorar la comprensión de este tema.

Palabras clave: forrajeras arbustivas, estacas, semilla sexual.

3.2 Abstract

Growth and development of *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray under different methods of planting in high tropical conditions. The aim was to evaluate growth and biomass production of botón de oro (*T. diversifolia*) during his first production cycle, of plants obtained by cuttings (pes), sexual seeds handled *in vitro* and trasplanted to field (Piv) and sexual seeds handled in nurseries and trasplanted to field (Psx) and to characterize the sexual seed obtained. The study was developed in Santa Martha farm, in the municipality of Guarne (Antioquia-Colombia), located at 2453 meters above sea level, from September 2013 and April 2014. The first phase allowed defining a protocol for sexual seed planting, which was successfully implemented in the second phase of the study, which evaluated the growth phase and biomass production on 8 plots of 20 m² from the uniformity cut until the first harvest at day 56. Height values (70,1, 65,3 and 69,9 cm) were obtained, whole plant weight (1387,8, 1066,6 and 1211,5 g), weight of stalks (712,9, 551,9 and 625,3 g), weight of leaves (674,9, 514,8 and 586,3 g), ratio leaves: stalks (0,95, 0,95 and 0,96) and MS ton/ha/year (19,5, 14,9 and 17,7) for Pes, Piv and Psx, respectively. It was possible to characterize the sexual seed obtained during the study, 13.59 seeds were found on average for each 0.1 g of the material obtained. The results allow recommending the sexual seed by direct seeding and transplanting to field as a method for the establishment of *T. diversifolia* under the evaluated conditions. However, it requires more studies to improve understanding of this topic.

Keywords: Forage shrubs, cuttings, seeds.

3.3 Introducción

Las pasturas tropicales generalmente se caracterizan por presentar bajo rendimiento productivo y baja calidad nutricional, razones por las que los productores se ven en la necesidad de encontrar nuevos materiales que ayuden a mejorar la oferta alimenticia para sus animales. La acumulación de biomasa y la composición bromatológica de esta obedecen a diversos factores, por un lado los que se asocian a la especie vegetal y de otro los asociados a condiciones agroecológicas y de manejo de los cultivos forrajeros.

La producción animal en pastoreo se debe en gran medida al resultado del proceso fotosintético que las plantas realizan para el crecimiento, desarrollo y acumulación de biomasa, que deberá ser consumida por los animales y convertida en producto animal. En pasturas tropicales, los sistemas ganaderos comúnmente se caracterizan por bajos índices de producción y bajo valor nutritivo del forraje producido.

En el trópico alto colombiano es común contar con una base forrajera sustentada en monocultivos de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), con alto uso de fertilizantes nitrogenados (Carvajal et al., 2012), por lo que es complicado alcanzar adecuados balances nutricionales, sobre todo si se considera que es en condiciones de trópico alto donde se desarrollan los sistemas de ganadería lechera especializada, la que presenta necesidades nutritivas superiores a otros sistemas ganaderos.

Los sistemas ganaderos tradicionales requieren de una utilización más eficiente de recursos, entre los que se puede contar con el uso de forrajeras arbustivas en la suplementación de los animales (Mahecha et al., 2002); *T. diversifolia* puede definirse como una alternativa para mejorar las condiciones de manejo y optimizar producción y calidad de la leche en sistemas ganaderos de lechería especializada.

En este tipo de sistemas los ganaderos y técnicos se han preocupado más por la cantidad de biomasa forrajera producida que por su calidad, lo que ha llevado a la necesidad de suministrar gran cantidad de suplementos alimenticios, que sin embargo, no se reflejan de la manera esperada en la cantidad y calidad de la leche producida ni sobre la salud del ganado lechero y menos aún, se logran cambios importantes en cuanto a los impactos generados sobre el medio ambiente.

La búsqueda de alternativas en la suplementación al pastoreo, realizada en el trópico alto colombiano, ha generado interés en la implementación de diversas especies forrajeras con alto potencial nutricional y que además propendan por un importante cambio en el tipo de impactos generados por la ganadería.

La *Tithonia diversifolia* (Hemsl A. Gray), introducida en el trópico a nivel mundial (Maina et al., 2012), tiene cualidades que permiten clasificarla como planta forrajera de alto potencial para la producción animal, mejoramiento de suelos, protección de taludes, abono verde, usos medicinales, entre otros (Gualberto et al., 2010); en Colombia crece desde 0 hasta 2500 msnm, soportando muy bien amplios rangos de temperatura y precipitación y adaptándose a suelos desde fértiles hasta pobres en nutrientes (Hernández 2011).

El desarrollo y velocidad de crecimiento puede variar en función del material usado para su establecimiento, siendo de más amplio conocimiento el uso de estacas (Jama et al., 2000), sin embargo la utilización de semilla sexual puede llegar a constituirse en una excelente estrategia para la propagación de esta importante especie forrajera, pudiendo llegar a ser más eficiente que el uso de estacas empleado tradicionalmente.

T. diversifolia ha sido reconocida entre los productores por su capacidad para la acumulación de nitrógeno (Jama et al., 2000, Medina et al., 2009 y Verdecia et al., 2011) y de fósforo y potasio (Jama et al., 2000); así mismo, por sus características nutricionales como son el contenido de proteína, carbohidratos solubles (Medina et al., 2009) y el nivel de taninos, puede ayudar a mejorar el balance alimenticio en cuanto al aporte de energía y proteína en la dieta de ganado lechero especializado.

En este documento se propone como objetivo evaluar el crecimiento y producción de biomasa de botón de oro (***T. diversifolia***) durante su primer ciclo productivo, a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantada a campo y caracterizar la semilla sexual obtenida.

3.4 Materiales y métodos

El estudio se realizó en la finca Santa Martha, en el municipio de Guarne, departamento de Antioquia; ubicada a 2453 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 17°C y una precipitación anual de 1860 mm.

3.4.1 Desarrollo de plantas obtenidas por semilla sexual con siembra directa en campo

La primera parte del documento describe el desarrollo de plantas obtenidas mediante semilla sexual, con el propósito de conocer la forma apropiada para la siembra de las semillas y colecta de las plántulas para su trasplante al lote experimental definitivo; por tanto, esta fase no correspondió con un diseño experimental.

Para esta etapa esto se utilizó un lote de 180 m² que estuvo en rastrojo, se realizó el correspondiente análisis del suelo (lote 1) cuyos resultados se presentan en la cuadro 3.1.

La preparación del terreno se realizó manualmente, previa utilización de un herbicida sistémico (glifosato, producto comercial y bajo las recomendaciones del fabricante) para eliminar la biomasa presente en el terreno, se prepararon los surcos a un metro de distancia, dejando calles para la realización de actividades culturales y se procedió a la siembra.

La semilla sexual se obtuvo en el mercado, con un proveedor conocido de este tipo de material quien lo cosecha en la región de los Llanos Orientales de Colombia, persona que de manera empírica ha desarrollado su técnica de cosecha, manejo y empaquetado para el envío de la semilla, esta se conservó en nevera hasta su siembra.

En comunicación personal con el productor refiere que durante la cosecha lo básico es mantener la semilla húmeda, en este caso transcurrieron cuatro días entre el envío y la siembra, actividad que se realizó durante la última semana del mes de julio de 2013.

Cuadro 3.1. Características del suelo donde se evaluó el protocolo de siembra de semilla sexual de botón de oro y del suelo donde se comparó el crecimiento y desarrollo de plantas de botón de oro. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013.

Característica		Lote 1	Lote 2
Materia orgánica		10,9	15,6
pH		5,1	5,6
CICE		12,5	4,4
Textura	A %	56	68
	L %	18	22
	Ar %	26	10
	Clase	FArA	FA
Contenido mineral	Al ¹	0,4	-
	Ca ¹	2,7	10,7
	Mg ¹	0,95	1,2
	K ¹	0,35	0,56
	Na ¹	0,02	0,03
	P ²	2,0	11,0
	S ²	8,0	10,0
	Fe ²	222	69
	Mn ²	8,0	6,0
	Cu ²	10,0	4,0
	Zn ²	1,0	6,0
	B ²	0,12	0,39

¹ meq/100 g de suelo; ² mg/kg.

Laboratorio de suelos Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín 2013.

Las semillas se sembraron directamente en campo (en los surcos), a razón de 10 kg de semilla por hectárea, se cubrieron con tierra unos 5 cm aproximadamente y luego con una ligera capa de pasto seco picado; pasadas ocho semanas no se obtuvieron plantas, por lo que se repitió el

proceso, esta vez la semilla se mezcló con gallinaza en una relación 10:1 (gallinaza:semilla), empleando 10 kilogramos de semilla por hectárea, se sembró a chorro, se cubrió con tierra dejando las semillas a una profundidad entre 1 y 2 cm y luego se cubrió con pasto seco para evitar el lavado de tierra y semillas por las lluvias o que estas fueran consumidas por las aves.

El tiempo estimado para el inicio de la germinación, de acuerdo a la literatura (Romero et al., 2014) y experiencias propias bajo condiciones controladas, fue de siete días; de acuerdo con lo anterior, se programó el retiro del pasto seco que cubría el terreno sembrado con semillas y facilitar la emergencia de las plántulas. Se realizó mantenimiento al área cultivada, el cual consistió en la eliminación de las especies vegetales no deseadas y se hizo seguimiento semanal para observar la germinación del material.

Para describir el crecimiento y desarrollo del botón de oro se eligieron en el lote 5 segmentos de surcos de 4 metros lineales, cuidando que se hallaran al mismo nivel en el terreno; en cada surco se eligieron las primeras cinco plantas en aparecer, siendo cada una de estas plantas una unidad de muestreo permanente; en los surcos se tuvo en cuenta que la planta a evaluar estuviera al menos a 25 cm de otras plantas de botón de oro. Semanalmente y durante 14 semanas se utilizó una regla para medir la altura de las plantas desde el suelo hasta los primordios foliares, yema del tallo principal.

3.4.2 Desarrollo de plantas obtenidas por diferentes métodos de siembra

Una vez definido la metodología para la obtención de plantas mediante la siembra de semilla sexual, se procedió al montaje de la fase experimental que busca evaluar el crecimiento y desarrollo de plantas de botón de oro obtenidas mediante diferentes métodos de siembra. Se planteó un modelo experimental con tres tratamientos (método de siembra), con mediciones semanales y ocho repeticiones (parcelas) por tratamiento.

Para esto en la misma finca se seleccionó un lote de 720 m², se realizó análisis de suelos (lote 2) y los resultados se presentan en el cuadro 3.1; se preparó el terreno de manera manual, previa utilización de un herbicida sistémico.

En un banco de material vegetal de botón de oro, ubicado a 2150 msnm en una localidad de la ciudad de Medellín, se obtuvieron tallos de 1 a 1,30 m de longitud, en la finca se cortaron estacas entre 30 y 35 cm, cada una con al menos dos yemas; la siembra se hizo en un terreno definido para ello.

La semilla sexual se obtuvo en la región de los Llanos Orientales de Colombia, una parte se utilizó para obtener plantas a partir de semilla purificada y germinada en proceso *in vitro* en un laboratorio local, las plántulas se trasladaron a bolsas de almácigo; la otra parte de la semilla sexual se mezcló con gallinaza en una relación 10:1 (gallinaza:semilla) para aumentar el volumen de material para la siembra, a la vez que aporta materia orgánica al suelo (M.O. 42,5% y N 2,02%) pudiendo ayudar a la germinación de la semilla; la mezcla se estableció directamente en semilleros en un nuevo lote recién preparado en la misma finca y definido para ello.

Pasadas 8 semanas, cuando las plantas presentaban hojas bien desarrolladas, se seleccionaron 288 plantas obtenidas por cada uno de los tres métodos (tratamientos), estacas (Pes), semilla sexual manejada *in vitro* y llevas a bolsas de almácigo (Piv) y semilla sexual manejada en semilleros y trasplantadas a campo (Psx). Se prepararon 24 parcelas de 20 m² cada una, cada parcela constituye una repetición, para un total de 8 repeticiones por tratamiento; las plantas fueron trasladadas a las parcelas experimentales destinadas para ello, plantando 36 plantas por parcela, para una densidad de 1,8 plantas por m².

Durante el primer mes se revisó que tuvieran el desarrollo adecuado, se controlaron las malezas y a los tres meses de establecido el cultivo se fertilizó con 70 g de un producto comercial (10-30-10) y 15 g de una mezcla de microminerales.

Se hizo seguimiento semanal para observar desarrollo de las plantas y pasados 4 meses se realizó un corte de uniformización a 30 cm de altura en todas las parcelas. Semanalmente, desde la tercera y hasta la octava semana después del corte, se midió la altura de las plantas (suelo hasta los primordios foliares). A la semana 8 (56 días) se cortaron y pesaron las plantas, obteniendo el peso completo y por separado de hojas y tallos; se determinó la MS a las plantas completas y se estimó la producción de biomasa para cada uno de los métodos de siembra, considerando área y número de plantas en cada parcela experimental y el número de cortes posibles al año (365/56).

Se planteó el siguiente modelo estadístico, con tres tratamientos y mediciones semanales:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + S_m + S_m * T_i + e$$

Donde, μ : media general; T_i : efecto del tratamiento; S_m : efecto de la semana de medición; $S_m * T_i$: interacción entre semana y tratamiento; e : error experimental.

Los datos fueron analizados mediante SPSS (Statistics 22); para el crecimiento semanal se hizo un análisis de medidas repetidas en el tiempo, se realizó ANOVA y se probaron diferencias entre métodos de siembra mediante prueba Duncan (0,05) para altura, peso completo, peso de hojas, peso de tallos, relación hoja:tallo y materia seca.

3.4.3 Obtención de semilla sexual de botón de oro

Para describir el proceso de recolección y manejo de semilla sexual de botón de oro, en la misma finca de los estudios anteriores se seleccionó un banco forrajero de aproximadamente 22 meses de establecido y sembrado a una densidad de 1,8 plantas por m². Pasados 80 días de crecimiento de las plantas desde el último corte realizado, de un lote de 160 m² que se encontraba en proceso de floración se tomó una muestra aleatoria de 30 plantas y se les contó el número de tallos. Durante dos meses, una vez por semana con ayuda de tijera podadora se recolectaron manualmente las flores que fueron perdiendo sus pétalos.

Entre las flores de las plantas seleccionadas se tomó una muestra de 98 flores ($Z=1,96$, $e=0,1$), se pesaron al momento de la colecta y se procedió a su secado en marquesina; pasadas entre dos y tres semanas de secado, de acuerdo con la temperatura presentada, se pesaron las flores secas, se desgranó la semilla manualmente y se pesó y se almacenó el material colectado, el cual estaba compuesto en parte por pétalos, restos de brácteas y otras partes de la flor y las semillas.

Finalmente con un recipiente con capacidad de 5 cm³, se tomaron 30 muestras del pool de semillas obtenidas, cada medida se pesó y se contaron las semillas presentes, se estableció una relación para presentar el número de semillas por cada gramo (1 g) y de esta manera se realizó

una aproximación al número de semillas contenido por kilogramo de material.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Desarrollo de plantas obtenidas por semilla sexual

En un primer momento de siembra de semillas no se obtuvieron plantas, Jama et al., (2000), dicen que cuando se establece el cultivo a partir de semillas en el campo, la germinación puede ser pobre si las semillas se siembran muy profundo o se cubren con tierra arcillosa.

Durante la época de siembra se presentaron varios días con alta intensidad de lluvias, por lo que el terreno retuvo gran cantidad de humedad, pudiendo darse la pudrición de las semillas, en este sentido Jama et al., (2000), recomiendan cubrir las semillas con una fina capa de tierra arenosa lo que puede mejorar la germinación. No se contó con reportes previos sobre la profundidad de siembra para semillas de botón de oro.

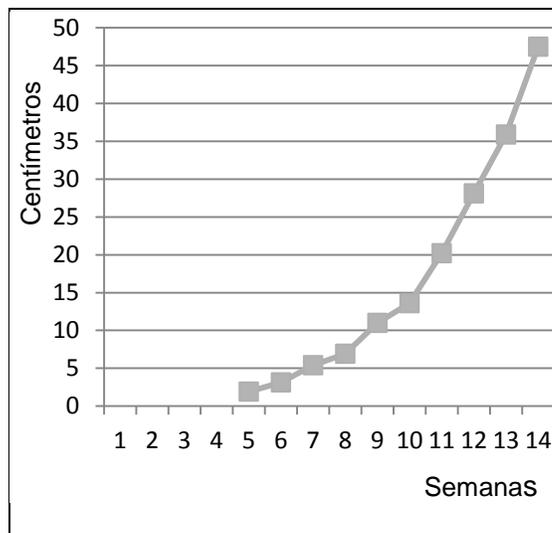
Cuando se repitió el proceso, se obtuvieron 533 plantas, con un estimativo de 2,97 plantas por m², lo que permitió superar las expectativas 1,8 plantas por metro cuadrado, según Ríos (1995).

A pesar de que se esperaba la aparición de las primeras plántulas a los 7 días, las primeras semillas en germinar lo hicieron a las 4 semanas posteriores a la siembra, con un crecimiento inicial muy lento. Esto pudo estar relacionado con las condiciones climatológicas, que para esa época se caracterizaron por las bajas precipitaciones.

En la cuadro 3.2 se presentan los datos del crecimiento promedio semanal de las plantas obtenidas, medidas a partir de la quinta semana.

Cuadro 3.2. Crecimiento promedio semanal de plantas de *Tithonia diversifolia*, obtenidas mediante siembra por semilla sexual. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013.

Semana	Crecimiento (cm)	Coefficiente variación (%)
5	1,9	29,1
6	3,1	24,3
7	5,4	31,9
8	6,9	25,9
9	11	26,5
10	13,6	26,5
11	20,2	30,4
12	28,1	22,8
13	35,9	24,3
14	47,5	24,6



El crecimiento inicial fue lento, pero a partir de la octava semana se notó un crecimiento más acelerado de las plantas, sin embargo los resultados presentaron una gran variabilidad en cuanto al crecimiento semanal; de acuerdo con Lugo (2012), en el crecimiento de la planta primero ocurre un rebrote lento debido a la poca cantidad de área foliar, este es seguido por un período de mayor crecimiento en el cual se nota un importante aumento en la producción de hojas y luego una fase donde la planta presenta incrementos en la altura y aumenta la producción de biomasa leñosa de manera acelerada, coincidiendo con lo observado en este estudio.

En la figura 3.1, se presentan fotografías de diferentes momentos de la germinación y desarrollo de las plantas obtenidas por semilla sexual, notándose la diferencia en las características de la plántula con respecto a la planta ya formada.

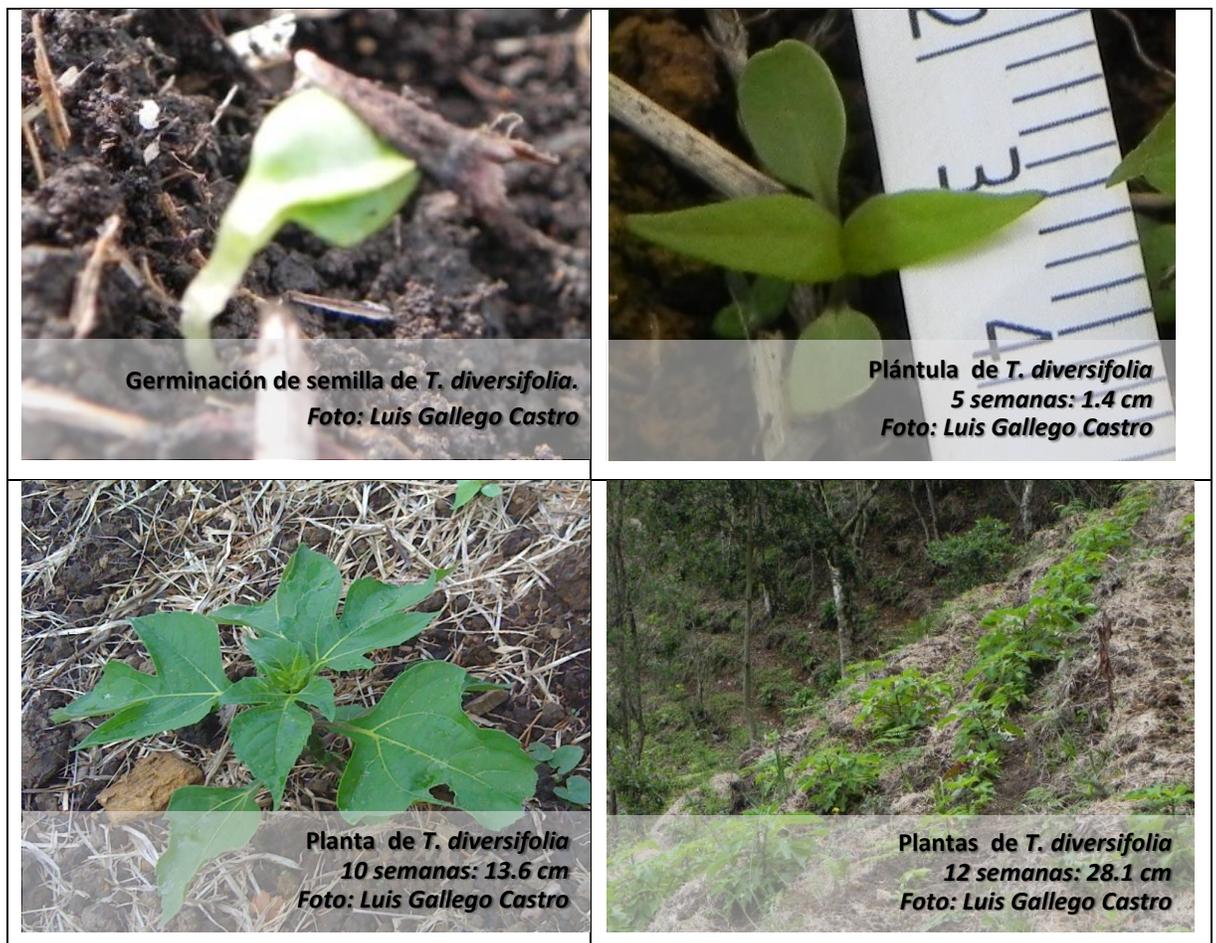


Figura 3.1 Desarrollo de plantas de *T. diversifolia* obtenidas por semilla sexual. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013. Fotos: Luis Gallego Castro.

Es importante reconocer las plántulas y sus características durante el desarrollo inicial, como se observa en la figura 3.1, recuadros superiores, y así no correr el riesgo de dañar o arrancar las pequeñas plantas mientras se hace control de arvenses y otras especies que compitan con *T. diversifolia*.

Las plántulas de botón de oro presentan inicialmente pequeñas hojas primarias simples y aproximadamente entre la cuarta y quinta semana después de su germinación empiezan a diferenciar las primeras hojas, lo que debe ser considerado para la realización de las labores culturales.

De acuerdo con la experiencia obtenida en la primera parte se definió una metodología apropiada para la obtención de plantas mediante el uso de semilla sexual, la alta germinación de las semillas en este lote

estuvo influenciada posiblemente por la menor profundidad de siembra y posiblemente a factores ambientales en los días previos a la germinación de las semillas. La germinación en esta ocasión (semillero y trasplante posterior a campo), se observó aproximadamente a los 16 días, mucho más rápido que lo encontrado en el primer ensayo cuando se sembró directamente en campo y se encontró que la germinación tardó entre cuatro y cinco semanas.

Intentos anteriores de siembra por semilla no han sido tan efectivos (Ríos y Salazar 1995), y según Jama et al., (2000), *tithonia* se propaga más fácilmente de esquejes que de semillas, estando de acuerdo con lo dicho por Lezcano et al., (2012), quienes afirman que *T. diversifolia* crece como una arvense en el borde de los caminos, de forma rápida y se multiplica fácilmente por esquejes incluso bajo condiciones desfavorables. No obstante los mismos autores, Ríos y Salazar (1995) y Jama et al., dicen que las semillas llegan a germinar si se deja secar en la planta y que al caer estas germinan con frecuencia bajo el dosel de los arbustos.

Muoghalu y Chuba (2005), reportan que *T. diversifolia* mostró baja germinación (16,3%) inmediatamente después que la semilla fue cosechada en el campo; estos autores refieren que se da un período de latencia inicial, cuando las semillas se almacenan en seco a temperatura ambiente; los mismos autores mencionan que la escarificación de estas semillas con ácido sulfúrico concentrado durante períodos variables no mejoró la germinación.

El alto número de plantas obtenidas por semillas en este estudio pudo deberse a que las semillas presentaron características morfológicas ideales y a que encontraron condiciones favorables que impulsaron su germinación, de acuerdo con Triebre et al., (2012), el peso, la morfología y la superficie de las semillas de *T. diversifolia* representan una ventaja significativa. Lo anterior será importante al momento de seleccionar la semilla a sembrar, lo que puede llegar a facilitar el desarrollo de cultivos al emplear esta estrategia de siembra.

Los valores de sobrevivencia y prendimiento de las plantas obtenidas por semillas, pueden estar definidos por el volumen radical y la habilidad especial para absorber y extraer los nutrientes del suelo (Pérez et al., 2009), característica propia de *T. diversifolia*, señalada por Mahecha y Rosales (2005), lo cual permite un mayor anclaje en poco tiempo y garantiza una excelente persistencia durante la etapa de establecimiento. En el presente estudio se observó que las plantas

presentaron un sistema radicular con una raíz principal más desarrollada, lo que puede asociarse a un mejor arraigo de las futuras plantas.

En un balance real de la propagación por semillas, se puede indicar que el proceso posee ventajas como los menores costos de material para la siembra y el mayor número de plantas obtenidas y desventajas como puede ser la posible variabilidad genética de las plantas obtenidas en comparación con las obtenidas por estacas, aunque esto igual podría traducirse en más habilidad de la planta ante diversos fenómenos como el ataque de plagas, enfermedades y adversidades climáticas. Dado que en este estudio se ha obtenido una alta cantidad de plantas a partir de semillas, se puede indicar que el establecimiento de botón de oro con semilla sexual es una alternativa viable para siembra directa en campo, pero debe tenerse en cuenta que su germinación puede ser demorada según las condiciones presentadas durante la época de siembra.

3.5.2 Producción de biomasa de plantas obtenidas por diferentes métodos de siembra

Se midió la sobrevivencia de las plantas establecidas en cada una de las parcelas de estudio, donde el número de las obtenidas por semillas sexuales manejadas en semilleros y trasplantadas al campo (P_{sx}) vivas y bien establecidas al mes después del trasplante desde su sitio de siembra al sitio de cultivo definitivo fue mayor que las sembradas por estacas (P_{es}) o por semilla sexual manejadas *in vitro* y trasplantadas al campo (P_{iv}); se encontró una sobrevivencia de 100% (288/288 plantas), 94% (271/288 plantas) y 92% (265/288 plantas) para P_{sx}, P_{es} y P_{iv}, respectivamente.

Aunque P_{sx} presentó la mayor sobrevivencia de las plantas comparado con P_{es} y P_{iv}, los resultados obtenidos en los tres tratamientos superan el 90% de sobrevivencia, lo cual demuestra la factibilidad del establecimiento de *T. diversifolia* por los tres métodos. Los resultados obtenidos para P_{es} en el presente trabajo son mayores a los obtenidos por Lugo et al., (2013), quienes reportaron sobrevivencia de estacas entre 65% y 82,5 % cuando las estacas recibieron diferentes tratamientos presiembra; no se conocen reportes científicos de datos obtenidos al trasplantar plantas obtenidas por semilla sexual.

La alta sobrevivencia encontrada puede estar relacionada con el desarrollo radical de esta planta y según señalan Mahecha y Rosales

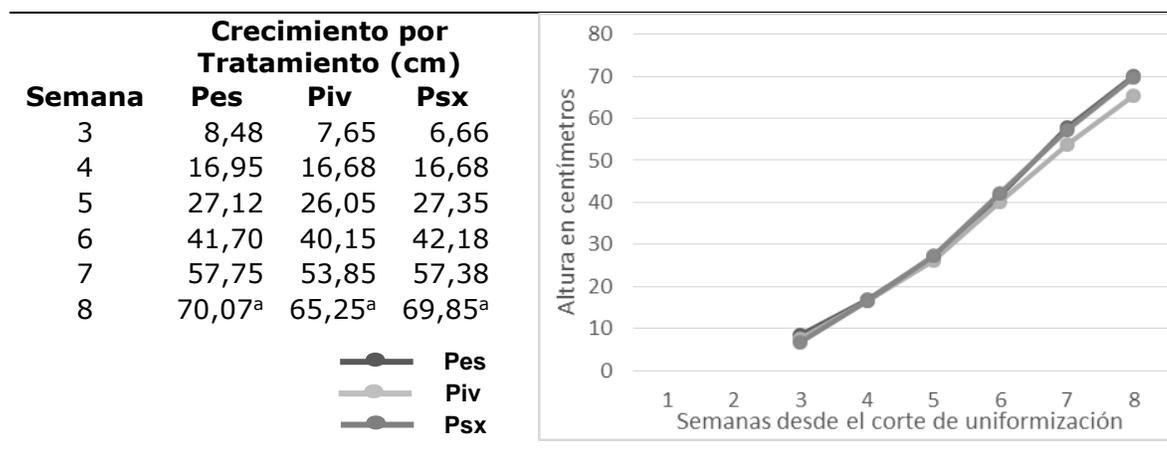
(2005), puede estar asociado con una mayor persistencia durante el establecimiento. La diferencia del 6% en sobrevivencia entre Psx y Pes que pone en ventaja al establecimiento mediante semilla sexual manejada en almácigos y luego trasplantada a campo, podría estar asociado a un desarrollo radical más rápido, según Romero et al., (2014), las raíces de plantas que se obtienen a partir de estacas no llegan a tener tanta longitud, vigor y densidad como las raíces de plántulas que proceden de semillas. Habría necesidad de ampliar los estudios que permitan entender las diferencias encontradas entre las plantas Psx y Piv.

Las plantas de todos los tratamientos tuvieron un crecimiento lento hasta la tercera semana después del corte de uniformización; a partir de la cuarta semana su crecimiento se aceleró y a las ocho semanas del corte de uniformización, se obtuvieron alturas promedio de 70,1, 65,3 y 69,9 cm, para Pes, Piv y Psx, respectivamente, sin diferencias significativas ($p > 0,05$) (cuadro 3.3).

Ruíz et al., (2010), encontraron que a las 16 semanas de edad, las plantas mostraron alturas hasta de 251 cm para periodo de lluvias y desde 71 cm en periodo de sequía; aclarando que el periodo en que se evaluó el crecimiento de las plantas después del corte de uniformización estuvo acompañado de lluvias a un nivel medio (210 mm durante las 8 semanas). En este estudio para el día 49 de evaluación, se obtuvieron alturas de 57,8, 53,4 y 57,4 cm para Pes, Piv y Psx, respectivamente, en todos los casos superiores a las alturas entre 45 y 48,5 cm reportados por Ríos y Salazar (1995) también a los 49 días, estos mismos autores cosechando a 110 días, reportaron alturas entre 176 y 190 cm.

El comportamiento en el crecimiento de *T. diversifolia* después del corte de uniformización, en todos los tratamientos coincide con el reportado por Lugo et al., (2012), quienes dicen que luego de la formación de hojas se da un crecimiento más acelerado de la planta. La interacción entre semana de medición y tratamiento no presentó diferencias significativas y no hubo efecto del tratamiento en cada momento de medición del crecimiento de las plantas. A la semana 3 se observó un cambio en la intensidad en el crecimiento, cuando se aceleró el desarrollo de las plantas, condición que se mantuvo hasta la octava semana, momento en el que se ha recomendado la utilización del forraje de botón de oro en la alimentación del ganado, coincidiendo con la época de floración temprana; esta situación es soportada por la no significancia estadística de los datos en la talla de las plantas a la octava semana.

Cuadro 3.3. Crecimiento promedio por semana de plantas de *Tithonia diversifolia*, obtenidas mediante siembra por estacas (Pes), semilla sexual manejada *in vitro* (Piv) y semilla sexual manejada en almácigos (Psx). Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2014.



A los 56 días después del corte de uniformización, se encontraron diferencias significativas para peso total de la planta y peso de hojas entre Pes y Piv ($p=0,043$ y $p=0,032$, respectivamente), sin diferencias entre Pes y Psx ($p>0,05$); no se encontraron diferencias significativas para altura de la planta y peso de los tallos ($p>0,05$). La relación hojas:tallos medida a la octava semana no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0,05$) (cuadro 3.4).

Cuadro 3.4. Altura, peso total, peso de tallos, peso de hojas y relación hojas:tallos de plantas de botón de oro (*T. diversifolia*) obtenidas mediante siembra por estacas (Pes), semilla sexual manejada *in vitro* (Piv) y semilla sexual manejada en almácigos (Psx). Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2014.

	Pes	Piv	Psx	Error estándar
Altura de la planta	70,07 ^a	64,75 ^a	69,85 ^a	2,29
Peso total	1387,75 ^a	1066,63 ^b	1211,5 ^{ab}	108,16
Peso de tallos	712,88 ^a	551,88 ^a	625,25 ^a	57,76
Peso de hojas	674,88 ^a	514,75 ^b	586,25 ^{ab}	52,09
Relación Hojas:Tallos	0,947 ^a	0,950 ^a	0,962 ^a	0,035

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (Duncan $p\leq 0,05$)

Se obtuvieron datos de MS de 12,74%, 12,90% y 12,45% para Pes, Piv y Psx, respectivamente, sin diferencia estadística ($p > 0,05$); la producción de biomasa proyectada para cada uno de los métodos de siembra, considerando la densidad de siembra utilizada de 1,8 plantas por metro cuadrado, 6,52 cortes/año y los porcentajes de sobrevivencia obtenidos, arrojó valores de 23,48, 17,66 y 21,81 toneladas de forraje verde por hectárea por corte para Pes, Piv y Psx, respectivamente; según resultados de MS, significó una equivalencia de 19,50, 14,85 y 17,70 toneladas de MS/ha/año, para Pes, Piv y Psx, respectivamente.

A la octava semana el desarrollo de las plantas se vio reflejado en la producción de biomasa proyectada, a favor de Pes y Psx. Sería conveniente hacer evaluaciones en cortes sucesivos debido a que en general la primera cosecha de un cultivo presenta rendimientos inferiores a los que se puedan obtener en el futuro, fundamentalmente por el bajo desarrollo radicular y el estado de madurez de las plantas (Medina 2009).

A pesar de los resultados obtenidos, al momento de definir el método de siembra a emplear, deben entrar a incidir factores como la calidad nutricional del forraje, la facilidad del proceso, los costos relacionados y la masificación de la siembra en condiciones de campo, aspectos que deberán ser profundizados en próximas investigaciones.

Las proyecciones realizadas en este estudio en cuanto a producción de MS/ha/año, con base en los resultados obtenidos en un cultivo joven en su primera cosecha, son inferiores a las reportadas por Nieves et al., (2011) quienes obtuvieron una producción de 55 toneladas de MS/ha/año, pero mayores a las encontradas por González et al., (2013), quienes reportaron producciones entre 10,36 y 13,61 ton de MS/ha/año, cuando establecieron cultivos mediante el uso de estacas obtenidas de diferentes partes de las plantas; Manuin (2007), reportó para el primer año de establecido el cultivo de *T. diversifolia* una producción de 17,2 ton/ha/año, siendo muy similares a las estimadas en el presente estudio. No se conoce un dato sobre la producción de MS en cultivos obtenidos a partir de semilla sexual.

Es importante considerar que aunque en este trabajo los resultados encontrados fueron menores en producción de biomasa para Piv, este método debe estudiarse más a fondo y lograr determinar si las plantas que son obtenidas bajo condiciones controladas de desinfección de semilla y medios de cultivo pueden llegar a considerarse una alternativa para

masificar la siembra y asegurar un producto uniforme para trabajos investigativos y de extensión.

Referente a la facilidad del proceso en condiciones de campo y los costos relacionados con el mismo, Romero et al., (2014) mencionan que el uso de estacas de *T. diversifolia* conlleva inconvenientes en el transporte por el volumen de material y sobrevivencia durante el mismo. Así mismo, Soudre et al., (2008), indican que la propagación por estacas es un proceso más arduo que el uso de semillas y el costo de cada planta podría ser ligeramente mayor.

La semilla es uno de los principales recursos para el manejo agrícola y silvícola de las poblaciones de plantas, para la reforestación y para la conservación del germoplasma vegetal; las semillas pueden almacenarse vivas por largos periodos (Vásquez et al., 1997) y ser utilizadas de acuerdo con las necesidades para el establecimiento del cultivo o cuando las condiciones de campo sean las adecuadas. Entre las características deseables de una especie forrajera, es que sea viable su establecimiento por medio de semilla sexual, lo que permitiría mayor agilidad en el desarrollo del cultivo y producción de forraje.

Los resultados obtenidos permiten inferir que la masificación de la siembra de esta especie sería más apropiada a través de semilla sexual, sin embargo poco se conoce sobre el manejo de la semilla en lo referente a recolección, procesado y almacenamiento antes de su siembra, por lo que son necesarios más estudios que ayuden a soportar este método de siembra.

3.5.3 Aproximación a la producción de semilla sexual de botón de oro.

En las fases iniciales de este estudio se emplearon semillas ofertadas por un comercializador de la zona de los llanos orientales de Colombia, este material fue entregado con un alto porcentaje de humedad, entre 40% y 50% aproximadamente; material que requirió de la siembra inmediata para evitar la pudrición de las semillas. Este estudio propone cosechar y secar las semillas, lo que puede permitir su almacenamiento por periodos de tiempo largos, mayor cantidad de semillas por peso, mayor facilidad para transporte y la opción de siembra cuando las condiciones de campo sean más apropiadas.

Al momento del estudio no se conocían reportes sobre la producción de semilla de botón de oro en condiciones similares; en el cuadro 3.5 se presentan resultados preliminares sobre la producción de semilla sexual de botón de oro, en plantas obtenidas en un banco forrajero establecido para este trabajo de investigación.

Cuadro 3.5. Número de tallos y flores, peso de flores frescas y secas y cantidad de semilla producida por plantas de botón de oro (*T. diversifolia*). Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2015.

Parámetro evaluado	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Número de tallos por planta	15	30	19,67	4,23
Número de flores por planta	51	144	88,67	17,22
Peso individual flores frescas (g)	3,19	7,83	5,37	1,12
Peso individual flores secas (g)	0,47	2,42	1,34	0,42
Producción de semilla por flor (g)	0,15	1,09	0,45	0,2
Número de semillas en 1 gramo de material	90	200	135,9	25,7

En este estudio las plantas de botón de oro, que ajustaron su octavo corte, presentaron en promedio 19,67 tallos y durante los dos meses de colecta se obtuvieron en promedio 88,67 flores por planta. Se encontró un peso promedio de 5,37 g y 1,34 g para flores frescas y secas respectivamente. La producción de semilla promedio por flor fue de 0,45 g, es importante aclarar que este peso corresponde al material tal como se colecta al desgranar las semillas, es decir no se trata de semillas solas. Se contabilizaron en promedio 135,9 semillas por cada gramo de dicho material.

En lo referente a la producción de semillas de botón de oro poco se conoce y pocos autores (Romero et al., 2104) han publicado resultados en este sentido.

En la figura 3.2, se presentan fotografías que muestran las principales características del material colectado que contiene semillas de botón de oro y algunas características de estas.



El fruto de *T. diversifolia* es indehiscente (no se abre), contiene una sola semilla (llamada aquenio), es oblongo y mide hasta 6 mm (Olmedo, 2009). Pérez (2009), menciona que cada planta presenta entre 12 y 14 flores, pero no menciona ni edad de la planta ni número de tallos, así como tampoco hace alusión al momento de conteo; sin embargo, con las 88,67 flores promedio por planta recolectadas durante dos meses, se estimó una cantidad promedio de 11,08 flores por semana. Estos valores deben tomarse solo como un referente pues se requieren estudios detallados que permitan conocer a lo largo del año y bajo diferentes condiciones ambientales, como se comportaría tanto la producción de flores como su contenido de semillas.

Romero et al., (2014), estiman de manera conservadora una producción de 17000 plantas por kilo de semilla; en el presente estudio si se hace una proyección, al haber encontrado 135,9 semillas por cada gramo de material colectado, se tendrían unas 135900 semillas por kilogramo, sin embargo es importante reconocer que son muchos los factores que pueden incidir sobre el número de plantas a obtener, entre

los que se pueden mencionar la viabilidad de la semilla, la posible tasa de germinación, las condiciones climáticas, el tiempo de latencia presentada y el manejo poscosecha de la semilla.

La propagación de botón de oro (*T. diversifolia*) con semilla sexual para siembra directa en campo o para siembra directa en semilleros y luego hacer trasplante es viable, sin embargo falta aún mucha investigación que lleve hacia la especificación de protocolos para la multiplicación con fines de plantaciones a gran escala.

Para el establecimiento de *T. diversifolia* es importante que se considere la disponibilidad del material de siembra, que de acuerdo con los resultados obtenidos puede ser más viable y económico con el uso de semilla sexual; aunque el desarrollo inicial de las plantas obtenidas por este método es más lento que por estacas, se espera que el sistema radicular de estas plantas sea más profundo, razón por la que podría realizarse un mejor anclaje de la planta y así sería posible que la planta extraiga una mayor cantidad de nutrientes del suelo.

Aún no se referencian estudios que permitan comparar realmente la producción de biomasa y la calidad nutricional de *T. diversifolia* obtenidas a partir de semilla sexual o de estacas. En este sentido y para las condiciones del presente estudio, es posible inferir que al obtener un mayor número de plantas por semilla sexual, se puede llegar a obtener una mayor cantidad de forraje, sin embargo es necesario que se realice un estudio detallado de esta situación, en el que se incluyan también análisis de la calidad nutricional del forraje. Por lo tanto, se propone el inicio de nuevos trabajos de investigación que permitan concluir al respecto.

Dadas las condiciones del presente estudio, es posible proyectar por los tres métodos evaluados una producción de materia seca (ton/ha/año) apropiada y promisorio para el trópico alto; de acuerdo con los resultados es factible obtener 100% de sobrevivencia en el establecimiento de *T. diversifolia* en trópico alto a partir de semilla sexual sembrada directamente en semilleros y luego trasplantada a campo (P_{sx}); estos resultados preliminares deben analizarse a mayor profundidad y así llegar a determinar con más precisión la viabilidad de utilizar esta estrategia para su establecimiento, sobre todo si se considera que la producción de forraje total por planta fue similar por P_{sx} y P_{es}.

El botón de oro se plantea como una buena alternativa para la producción de forrajes en el trópico alto colombiano, constituyendo una opción para mejorar la alimentación de bovinos en sistemas de producción lechera especializada, actividad que se desarrolla a gran escala en estas regiones en Colombia, situación que debe ser evaluada científicamente.

3.6 Literatura citada

Carvajal, T., L. Lamela, A. Cuesta. 2012. Evaluación de las arbóreas *Sambucus nigra* y *Acacia decurrens* como suplemento para vacas lecheras en la Sabana de Bogotá, Colombia. Rev. Pastos y Forrajes 35(4):417-430.

FUNDESAT. sf. Adelantando la germinación de estacas arbóreas. www.fundesat.utafoundation.org/estacas.htm (Consultado febrero 24, 2013).

González, D., T. Ruiz, H. Díaz. 2013. Sección del tallo y forma de plantación: su efecto en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*. Rev. Cubana Cienc. Agrícolas. 47:425-429.

Gualberto, R., O. Souza, N. Costa, C. Braccialli, L. Gaion. 2010. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray. Rev. Nucleus 7(2):135-149.

Hernández, M. 2011. Cartilla 2 Principales especies arbóreas y arbustivas usadas en sistemas silvopastoriles de la región del Sumapaz-Colombia. Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, COL.

Jama; B., C. Palm, R. Buresh, A. Niang, C. Gachengo, G. Nziguheba, B. Amadalo. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya A review. Agrofor. Syst. 49:201-221.

Lezcano Y., M. Soca, F. Ojeda, E. Roque, D. Fontes, I. Montejo, H. Santana, J. Martínez y N. Cubillas. 2012. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. Rev. Pastos y Forrajes 35(3):275-282.

- Lugo, S., F. Molina, I. González, J. González, E. Sánchez. 2012. Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre la producción de materia seca y proteína cruda de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Zootecnia Trop.* 30(4):317-325.
- Mahecha, L., L. Gallego y F. Peláez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* 15:213-225.
- Mahecha, L., M. Rosales. 2005. Valor nutricional del follaje de Botón de Oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. *Livestock Res. Rural Dev.* 17(9):100. <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm> (Consultado noviembre 9, 2013)
- Maina, I., S. Abdulrazak, C. Muleke, and T. Fujihara. 2012. Potential nutritive value of various parts of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) as source of feed for ruminants in Kenya. *J. Food Agric. Env.* 10:632-635.
- Manuin, R. 2007. Sobrevivencia y concentración de carbono y de nitrógeno en forrajeras con diferentes frecuencias de corte. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad EARTH, Guácimo, Limón. CRC.
- Medina, M., D. García, E. González, L. Cova, y P. Morantinos. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop.* 27:121-134.
- Muoghalu J., D. Chuba. 2005. Seed germination and reproductive strategies of *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray and *Tithonia Rotundifolia* (p.m) blake. *Applied Ecology and Environmental Res.* 3(1): 39-46.
- Nieves, D., O. Terán, L. Cruz, M. Mena, F. Gutiérrez, y J. Ly. 2011. Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* 14:309-314. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915703030>
- Olmedo, A. 2009. Influencia de las fases lunares, (menguante y luna llena) sobre la propagación vegetativa del botón de oro *Tithonia*

diversifolia para la formación de un banco de proteína. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida Sangolquí, ECU.

- Pérez A., I. Montejo, J. Iglesias, O. López, G. Martín, D. García, Y. Milián, A. Hernández. 2009. *Tithonia diversifolia* (Helms.) A. Gray. Rev. Pastos y Forrajes 32(1):1-15. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269119696001>
- Ríos, C, A. Salazar. 1995. Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. Livestock Res. Rural Dev. 6(3):25.
- Romero, O., A. Galindo, E. Murgueitio, Z. Calle. 2014. Primeras experiencias en la propagación del botón de oro (*Tithonia diversifolia*, Hemsl. Gray) a partir de semillas para la siembra de sistemas silvopastoriles intensivos en Colombia. Trop. and subtropical Agroecosystems 17(2014):525-528.
- Rueda, S., L. Taborda, H. Correa. 2006. Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. Rev. Colomb. Cienc. Pecu. 19(1):27-38.
- Ruiz, T., G. Febles, V. Torres, J. González, G. Achang, L. Sarduy, H. Díaz. 2010. Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona centro-occidental de Cuba. Rev. Cubana de Cienc. Agríc. 44(3):291-296.
- Soudre, M., F. Mesen, D. del Castillo, H. Guerra. 2008. Memoria del curso internacional "Bases técnicas para la propagación vegetativa de árboles tropicales mediante enraizamiento de estaquillas" IIAP, 100 p. Pucallpa, PER.
- Tiebre, M., N. Kassi, Y. Kouadio, E. N'guessan. 2012. Etude de la biologie reproductive de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Asteraceae): Espèce non indigène invasive en Côte d'Ivoire. J. Asian Scient. Res. 2(4):200-211.
- Vásquez, C., A. Orozco, M. Rojas, M. Sánchez y V. Cervantes. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemos. Fondo de cultura económica. MEX.

Verdecia, D., J. Ramírez, I. Leonard, Y. Álvarez, Y. Bazán, R. Bodas, S. Andrés, J. Álvarez, F. Giráldez, S. López. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto. REDVET. 12(5). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf> (Consultado noviembre 9, 2013)

Capítulo 4.

CALIDAD NUTRICIONAL DE *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray EN CONDICIONES DE TRÓPICO ALTO

Este capítulo corresponde al tercer objetivo específico planteado:

Evaluar la composición química de botón de oro (*T. diversifolia*) y contenido de taninos totales y de fenoles totales, a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantada a campo.

Se plantea como hipótesis que la composición química de botón de oro (*T. diversifolia*) y el contenido de taninos totales y de fenoles totales, no se afectan cuando se cosecha el forraje a partir de plantas obtenidas mediante estacas, semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual por siembra en semilleros y luego trasplantada a campo, lo que es comprobado mediante el desarrollo del tercer objetivo específico de esta tesis.

Una versión de este capítulo será publicado como:

GALLEGO et al.: Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto, Agron. Mesoam. 28(1):1-10. 2017. ISSN 1021-7444

CALIDAD NUTRICIONAL DE *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray EN CONDICIONES DE TRÓPICO ALTO.

4.1 Resumen

El objetivo de este trabajo fue comparar la composición bromatológica y el contenido de taninos del forraje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) obtenido bajo tres sistemas de siembra. El trabajo se desarrolló en la finca Santa Martha, en el municipio de Guarne (Antioquia-Colombia), ubicada a 2453 msnm, entre octubre de 2013 y julio de 2014. A los 56 días del corte de uniformización, se analizaron los contenidos de materia seca 12,74%, 12,90%, 12,45%, proteína cruda 14,1%, 12,76%, 13,31%, cenizas 16,19%, 15,50%, 16,00%, calcio 2,86%, 3,05%, 2,93%, fósforo 0,27%, 0,25%, 0,27%, fibra detergente neutro 53,81%, 50,21%, 52,80%, fibra detergente ácido 48,18%, 48,87%, 48,47%, carbohidratos totales no estructurales 8,50%, 8,35%, 7,82%, taninos totales 0,08%, 0,11%, 0,08% y fenoles totales 0,20%, 0,29%, 0,24% para plantas completas cosechadas en parcelas establecidas a partir de estacas, por semilla sexual manejada *in vitro* y semilla sexual en almácigos, respectivamente; solo se encontraron diferencias para fenoles totales ($p \leq 0,05$). El método de establecimiento no incidió sobre el contenido de nutrientes bajo las condiciones en que se realizó este estudio y al contenido de metabolitos secundarios no ser alto, se espera que no influyan sobre la palatabilidad, el consumo ni la digestibilidad de la materia seca. El botón de oro puede destinarse al establecimiento de bancos forrajeros para sistemas de corte y acarreo o para el secado y producción de harina para la alimentación animal.

Palabras clave: bromatología, forrajeras arbustivas, taninos.

4.2 Abstract

Nutritional quality of *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray in high tropical conditions. The aim of this study was to compare the chemical composition and tannins content of botón de oro (*Tithonia diversifolia*) obtained under three different planting systems. The work was developed in Santa Martha farm, in the municipality of Guarne (Antioquia-Colombia), located at 2453 meters above sea level, from October 2013 and July 2014. After 56 days of uniformity cut was analyzed contents of dry matter 12,74%, 12,90%, 12,45%, protein crude 14,1%, 12,76%, 13,31%, ash 16,19%, 15,50%, 16,00%, calcium 2,86%, 3,05%, 2,93%, phosphorus 0,27%, 0,25%, 0,27%, neutral detergent fiber 53,81%, 50,21%, 52,80%, acid detergent fiber 48,18%, 48,87%, 48,47%, total nonstructural carbohydrates 8,50%, 8,35%, 7,82%, total tannin 0,08%, 0,11%, 0,08% and total phenols 0,20%, 0,29%, 0,24%, for complete plants harvested in plots established by cuttings, by sexual seed handled *in vitro* and by sexual seed handled in seedlings, respectively; only differences were found for total phenols ($p \leq 0,05$). The method of establishment has no bearing on the nutritional composition in conditions under which this study was conducted, and at content of secondary metabolites no be high, is not to expect influence in the palatability, digestibility nor consumption of dry matter. The botón de oro can be destined for planting fodder banks for systems cutting and hauling, or drying and flour production for the animal feed.

Keywords: bromatological analysis, forage shrubs, tannins.

4.3 Introducción

En los sistemas ganaderos de trópico alto es tradicional encontrar una base forrajera sustentada en monocultivos de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), sin embargo es necesario que la oferta forrajera para estos sistemas ganaderos se diversifique, con la intención de mejorar el balance de nutrientes ofertados a los animales, a la vez que se puedan promover otras condiciones como la disminución del impacto sobre el medio ambiente y la calidad de los productos obtenidos. Los sistemas ganaderos tradicionales en su necesidad de transformación, principalmente en lo referente al manejo de la alimentación, requieren de una utilización más efectiva de los recursos forrajeros disponibles (Mahecha et al., 2002).

La *Tithonia diversifolia* (Hemsl A. Gray), planta de la familia Asteraceae, conocida como botón de oro y originaria de América Central ha sido introducida en el trópico en casi todo el mundo (Maina et al., 2012). Esta especie tiene muchas cualidades que la permiten clasificar como planta forrajera de un alto potencial para la producción animal, especie que presenta innumerables cualidades y es de resaltar su fácil adaptación a diversas condiciones de suelos y resistencia al corte frecuente (Nieves et al., 2011).

En Colombia el botón de oro crece en diferentes condiciones agroecológicas desde el nivel del mar (30°C) hasta 2.500 msnm (10°C) y precipitaciones de 800 hasta 5.000 mm al año y en distintos tipos de suelos de neutros a ácidos y desde fértiles hasta muy pobres en nutrientes (Hernández, 2011).

La calidad nutricional de esta planta puede variar en función de la edad de cosecha, condiciones del suelo y prácticas culturales realizadas. También puede verse influenciada por factores ambientales, siendo importante considerar el efecto de las temporadas secas o lluviosas a lo largo del año (Jama et al., 2000).

En general la información es escasa referente a factores que afecten la calidad nutricional de esta planta bajo diferentes condiciones de manejo en Colombia, especialmente en trópico de altura; no se conocen tampoco reportes para cultivos establecidos por semilla sexual.

El forraje botón de oro ha sido reconocido entre los productores por su capacidad para la acumulación de nitrógeno (Jama et al., 2000, Medina et al., 2009 y Verdecia et al., 2011) y de fósforo y potasio (Jama et al.,

2000); el botón de oro cuenta con importantes niveles de proteína y carbohidratos solubles (Medina et al., 2009), mientras que Manuin (2007), encontró que la frecuencia de corte afecta significativamente el contenido de proteína del forraje de *T. diversifolia*. Además, su nivel de taninos no es tan alto como para llegar a influenciar de manera negativa el aprovechamiento de los nutrientes de la planta por parte del ganado bovino.

A pesar de que esta planta se ha utilizado ya desde hace varios años en la producción de forraje para consumo directo o para corte, la calidad nutricional de forrajes obtenidos bajo condiciones de cultivo con condiciones de manejo agronómicas bien definidas no ha sido suficientemente ilustrado en Colombia, menos aún si se consideran métodos de siembra diferentes al uso de estacas como material para el establecimiento del cultivo.

El objetivo de ese trabajo fue comparar la composición bromatológica y el contenido de taninos del forraje de botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) obtenido bajo tres sistemas de siembra.

4.4 Materiales y métodos

El estudio se realizó en la finca Santa Martha, entre los meses de octubre de 2013 y julio de 2014, en el municipio de Guarne, departamento de Antioquia, Colombia; ubicada a 2453 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 17°C y una precipitación de 1860 mm.

Se realizó el análisis de suelo al terreno donde se establecieron las parcelas (Cuadro 4.1).

La preparación del terreno se realizó manualmente, previamente se realizó la aplicación de un herbicida sistémico (glifosato, producto comercial y bajo las recomendaciones del fabricante) para eliminar la biomasa presente en el terreno, se prepararon los surcos a un metro de distancia, dejando calles para la realización de actividades culturales.

4.4.1 Cultivo del botón de oro

Las plantas destinadas al establecimiento del cultivo, se obtuvieron por tres métodos: plantas que provenían de estacas (Pes), plantas a partir de semilla sexual manejada bajo condiciones *in vitro* (Piv) y plantas obtenidas de semilla sexual manejada en almácigos (Psx).

Las estacas fueron obtenidas en un cultivo de botón de oro, establecido como banco de material vegetal para su propagación (corregimiento de San Cristóbal, Medellín, Colombia), su siembra se hizo en un terreno definido para ello; la semilla sexual se obtuvo en el mercado con un proveedor localizado en los llanos orientales de Colombia, se llevó una parte de esta semilla a un laboratorio local para la obtención de plantas a partir de semilla purificada y germinadas mediante proceso *in vitro*, las plántulas se trasladaron a bolsas de almacigo; otra parte de la semilla sexual se estableció en almácigos mezclando la semilla con gallinaza en una relación 10:1 (gallinaza:semilla) a razón de 5 kilogramos de semilla por hectárea.

Para el establecimiento del cultivo, se prepararon de manera manual veinticuatro parcelas de 20 m² cada una, las parcelas fueron distribuidas de manera aleatoria en el terreno de manera que se asignaron ocho parcelas para cada método de siembra, se distribuyeron considerando los niveles del terreno de acuerdo con la topografía (divididos por igual en la parte alta y parte baja del terreno).

Pasadas ocho semanas se seleccionaron 288 plantas obtenidas por cada método (Pes, Piv y Psx) y fueron trasladadas a las parcelas experimentales destinadas para ello, plantando 36 plantas por parcela, para una densidad de 1,8 plantas por m² y distribuidas en los niveles bajo y alto del terreno; durante el primer mes se revisó que tuvieran el desarrollo adecuado.

Se controlaron las malezas en el área cultivada y a los tres meses de establecido el cultivo se fertilizó con 70 g de un producto comercial (10-30-10) y 15 g de una mezcla de microminerales. Se hizo seguimiento semanal para observar desarrollo de las plantas y pasados cuatro meses se realizó un corte de uniformización a 30 cm de altura, en todas las parcelas.

Cuadro 4.1. Características del suelo donde se cultivó *Tithonia diversifolia*, para comparar la composición bromatológica y el contenido de taninos del forraje obtenido bajo tres sistemas de siembra. Municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2013.

Características		Composición
Materia orgánica		15,60
pH		5,60
CICE		4,40
Textura	A %	68,00
	L %	22,00
	Ar %	10,00
	Clase	FA
Contenido mineral	Al ¹	-
	Ca ¹	10,70
	Mg ¹	1,20
	K ¹	0,56
	Na ¹	0,03
	P ²	11,00
	S ²	10,00
	Fe ²	69,00
	Mn ²	6,00
	Cu ²	4,00
	Zn ²	6,00
	B ²	0,39

¹ meq/100 gr de suelo; ² mg/kg.

Laboratorio de suelos Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín 2013.

Pasados 56 días desde la uniformización del cultivo, se realizó la cosecha de plantas completas a 30 cm de altura, el material fue llevado al laboratorio integrado de Nutrición Animal, Bioquímica y de Pastos y Forrajes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de

Antioquia, donde según AOAC (1995) se realizaron los análisis de cenizas (Cen), calcio (Ca), fósforo (P), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA).

Para los análisis de fenoles totales (FT) y taninos totales (TT), las muestras se enviaron al laboratorio de Nutrición Animal y Calidad de Forrajes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), donde se siguió la metodología definida según FAO/IAEA (2003) y que expresa los resultados como % de ácido tánico, y para carbohidratos totales no estructurales se enviaron las muestras al laboratorio de Nutrición de Plantas y Química de Suelos, del CIAT, donde se sigue el método de Kang y Bringk (1995).

Los datos obtenidos fueron analizados mediante SPSS (Statistics 22), realizando ANOVA y probando diferencias para la composición nutricional, fenoles totales y taninos totales. No se encontraron diferencias para los niveles del terreno según los métodos de siembra, por lo que los resultados se presentarán bajo un diseño completamente aleatorizado, con tres tratamientos (Pes, Piv y Psx), con ocho repeticiones cada uno (parcelas) y para lo que se probaron las diferencias mediante prueba de Tukey ($P < 0.05$).

4.5 Resultados y discusión

Los valores medios por tratamiento para materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas (Cen), calcio (Ca), fósforo (P), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y carbohidratos totales no estructurales (CTN) no mostraron diferencias estadísticamente significativas en lo referente a la composición química de los forrajes según el material empleado para la siembra ($P > 0.05$) (Cuadro 4.2).

Es de resaltar que la composición química de los forrajes depende en gran medida de las partes de la planta que sean cosechadas, la edad de cosecha, la altura sobre el nivel del mar a la que se desarrolle y el manejo agronómico dado al cultivo.

Es importante recalcar que este estudio se realizó en trópico de altura (2453 msnm) y no fue posible encontrar otros estudios en condiciones similares, sin embargo como no existió diferencia significativa entre los métodos de siembra empleados, se compara y discute con los hallazgos de otros autores. Asimismo, en la mayoría de los estudios

publicados se ha hecho la evaluación de solo material foliar o con selección de tallos tiernos, mientras que en este estudio se tomó la planta completa (tanto hojas como la totalidad de los tallos, que presentaron hasta 3,5 cm de diámetro).

Cuadro 4.2. Composición química de plantas de botón de oro (*T. diversifolia*) obtenidas mediante estacas (Pes), manejo *in vitro* (Piv) y semilleros (Psx). Municipio de Guarne, departamento de Antioquia, Colombia, 2014.

	Pes	Piv	Psx	Error estándar
Materia seca (%)	12,74 _a	12,90 _a	12,45 _a	0,398
Cenizas (%)	16,19 _a	15,50 _a	16,00 _a	0,349
Calcio (%)	2,858 _a	3,051 _a	2,934 _a	0,125
Fósforo (%)	0,267 _a	0,253 _a	0,270 _a	0,008
Proteína (%)	14,10 _a	12,76 _a	13,31 _a	0,703
FDN (%)	53,81 _a	50,21 _a	52,80 _a	1,236
FDA (%)	48,18 _a	48,87 _a	48,47 _a	1,278
CTN (%)	8,50 _a	8,35 _a	7,82 _a	0,556

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (Tukey $p \leq 0.05$). FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, CTN: Carbohidratos totales no estructurales.

Los resultados obtenidos para MS 12,74%, 12,90% y 12,45%, para Pes, Piv y Psx respectivamente, fueron superiores al 10,13% reportado por Lezcano et al., (2012) para hojas más tallos tiernos en periodo lluvioso y similares al 12,78% para periodos poco lluviosos; aunque estos reportes fueron para plantas de 60 días de edad, similar a los 56 días de cosecha en este estudio, es importante considerar que la edad de corte de las plantas y la época del año son factores que influyen de manera especial sobre el contenido de MS, aspectos importantes de consideración para estimar y optimizar el rendimiento en biomasa del cultivo.

En un estudio en tres ciclos de pastoreo, se reportó un porcentaje de MS mayor a los obtenidos en este estudio para cuatro distancias de plantación con una variación entre 19,5% y 23,8%, siendo necesario mencionar que la cosecha se efectuó a los 90 días de rebrote (Alonso et al., 2012). En un asocio de pasto guinea (*P. maximum*) y botón de oro

(*T. diversifolia*) cuando este último se sembró a 4 m entre surcos y se pastoreó a los 64 días de descanso el nivel de MS correspondiente fue de 16,8% (Alonso et al., 2013).

Lo anterior puede indicar que existe gran variabilidad en cuanto al contenido de MS en el forraje de *T. diversifolia*, y que pueden ser múltiples las causas de esta variación, entre las que se cuentan la edad del cultivo, la frecuencia de corte, la temporada del año, el manejo agronómico, la asociación con otras especies forrajeras, aspectos que deberán ser estudiados con mayor detenimiento.

En lo referente a PC, quizás uno de los parámetros más variables entre los resultados presentados por diferentes autores, los valores obtenidos de 14,10%, 12,76% y 13,31%, para Pes, Piv y Psx respectivamente, fueron similares a los presentados por Pasqualotto et al., (2010) quienes reportaron 14,09% para PC, aunque estos no mencionaron edad de cosecha del forraje; mientras que Roa et al., (2010) cosechando a los 60 días, sin aclarar si se trata de planta completa o no, reportaron solo un 10% de PC.

En un corte a los 90 días de rebrote y a 50 cm desde el suelo, se encontró un nivel de PC del 25,62% (García et al., 2008), mientras que Lezcano et al., (2012), a los 60 días, reportaron 19,03% de PC; todos ellos valores superiores a los encontrados en este trabajo, aclarando que en la publicación de García et al., (2008) no se especificó el tipo de material empleado y en el de Lezcano et al., (2012), se usaron solo hojas y tallos tiernos.

En plantas cosechadas a las ocho semanas en un ensayo de vivero en el que evaluaron el efecto del tamaño y grosor de la estaca empleada para el establecimiento de las plantas, se encontraron valores entre 20,37% y 23,65% de PC, tomando solo hojas y tallos tiernos de menos de 6 mm de diámetro (Medina et al., 2009). En otro reporte, empleando solo hojas y tallos de menos de 2 cm de diámetro a los 120 días de edad de las plantas, se obtuvo un 22,3% de PC (Verdecia et al., 2014), mientras tanto de Souza (2007), reportó que en estado de prefloración (correspondiente a 103 días de edad del forraje, en plantaciones a 50 cm entre plantas y 75 entre surcos) la PC fue de 12,35%.

Frente a las variaciones en los niveles de PC reportados por diversos autores y los encontrados en este trabajo, es importante considerar que el contenido de este nutriente en los forrajes puede estar influenciado de

manera importante por las partes de la planta empleadas para su análisis, en este trabajo se incluyó la planta completa (con tallos de diámetros de hasta 3,5 cm), además influyen el tipo de suelo, programas de fertilización, temporada del año, que la mayoría de publicaciones no aclaran y que en el presente estudio se mantuvieron similares para Pes, Piv y Psx.

Los valores proteicos encontrados en este estudio son superiores al 9% indicado como valor mínimo proteico requerido para la alimentación de rumiantes adultos y por encima del 7% definido para que no se afecte el consumo voluntario (Gualberto et al., 2010).

Los niveles de FDN 53,81%, 50,21% y 52,80% y los de FDA 48,18%, 48,87% y 48,47%, para Pes, Piv y Psx respectivamente, no presentaron diferencias entre los métodos de siembra; estos dos aspectos presentaron unos valores elevados en comparación con diferentes publicaciones revisadas. Para hojas más tallos Puerto (2012) reportó niveles de FDN de 27,07% y FDA de 19,5%, muy inferiores a los hallados en este estudio.

García et al., (2008) cuando realizó el corte a los 90 días de rebrote, encontró un 38,41% para FDN, pero no analizó la FDA. En otro estudio cosechando a los 60 días se obtuvieron resultados de 39,4% para FDN y 29,7% para FDA (Roa et al., 2010); Verdecia et al., (2014), reportan 45,71% FDN y 25,56% FDA; Medina et al., (2009) encontraron entre 33,27% y 35,87% y 26,27% y 27,74% para FDN y FDA respectivamente. Los autores antes citados no detallaron las características del cultivo, lo que dificulta la explicación de la diversidad de resultados hallados.

Con unos valores más cercanos a los encontrados en el presente estudio, Pasqualotto et al., (2010), sin reportar la edad de cosecha y la parte de la planta empleada, hallaron un 48,90% para FDN, mientras que de Souza (2007), presentó datos más similares a los de este estudio con 50,48% para FDN y 42,0% para FDA. Los datos obtenidos para FDN y FDA, y según Gualberto et al., (2010), pueden ser razonables al emplear plantas completas y tales valores se encuentran dentro de lo indicado para alimentación animal.

En lo referente a carbohidratos totales no estructurales (CTN), los valores de 8,50%, 8,35% y 7,82%, para Pes, Piv y Psx respectivamente, fueron similares a los reportados por Medina et al., (2009), quienes encontraron valores de 9,65% para carbohidratos solubles totales, pero

inferiores a los definidos como carbohidratos no estructurales presentados por Puerto (2012), con un 18,41%. Para este parámetro se reportan muy pocas publicaciones, sin embargo es importante aclarar que los resultados obtenidos en este estudio fueron similares entre si y que el método de siembra parece no afectar su contenido.

Para cenizas con valores de 16,19%, 15,50% y 16,00%, para Pes, Piv y Psx respectivamente, se hallaron valores superiores a los reportados por Roa et al., (2010), quienes cosechando el forraje a los 60 días reportaron 9,4% de Cen, sin embargo estos autores no aclaran si el material analizado estaba compuesto solo de hojas o por la planta completa; Medina et al., (2009), encontraron entre 7,38% y 8,12% de Cen. Mientras tanto, Lezcano et al., (2012), para hojas más tallos tiernos reportaron 12,51%, de Souza (2007) halló un 14,06% de Cen, García et al., (2008) en su trabajo reportó un 14,91%, en tanto que en el trabajo de Verdecia et al., (2014), se alcanzaron valores de 19,28%.

En lo referente a calcio y fósforo, con valores de 2,86%, 3,05% y 2,93% y de 0,27%, 0,25% y 0,27%, respectivamente para Pes, Piv y Psx, se hallaron en general altos para especies forrajeras. Lezcano et al., (2012), a los 60 días reportaron 3,17% Ca, mientras que Verdecia et al., (2014) encontraron un 2,63% de Ca, similares a los resultados obtenidos en este estudio. Sin embargo, se hallaron valores inferiores de tan solo 1,38% de Ca (de Souza, 2007).

En relación con el contenido de P, de Souza (2007) reportó un 0,523% y Medina et al., (2009) encontraron entre 0,36% y 0,38%, en ambos casos valores superiores a los hallados en este estudio; mientras que Verdecia et al., (2014) reportaron solo un 0,01% de P, muy inferior a los encontrados para botón de oro en los diferentes métodos de siembra evaluados en este estudio.

Lo anterior muestra que hay gran variación en los resultados obtenidos por diversos investigadores para cenizas, Ca y P y que posiblemente el tipo de material analizado, la edad de corte, las condiciones del suelo y el manejo, en particular si se fertilizan o no los cultivos, tendrán gran incidencia sobre su contenido en los forrajes. El contenido de Ca y P de manera particular muestra ventajas con respecto a otro tipo de forrajes y seguramente permitirá una buena complementación para el adecuado balance de estos minerales en las dietas típicas de ganaderías lecheras en el trópico alto colombiano.

Para los valores medios por tratamiento para fenoles totales (FT) se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre Pes y Piv, pero no entre Pes y Psx o Psx y Piv (Cuadro 4.3)

Cuadro 4.3. Contenido de fenoles totales y taninos totales en plantas de botón de oro (*T. diversifolia*) obtenidas mediante estacas (Pes), manejo *in vitro* (Piv) y semilleros (Psx). Municipio de Guarne, departamento de Antioquia, Colombia, 2014.

	Pes	Piv	Psx	Error estándar
Fenoles Totales (%)	0,198 _a	0,293 _b	0,235 _{a,b}	0,021
Taninos Totales (%)	0,085 _a	0,106 _a	0,083 _a	0,014

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa (Tukey $p \leq 0.05$).

Para fenoles totales los valores de 0,20%, 0,29% y 0,24% encontrados para Pes, Piv y Psx, respectivamente, fueron inferiores a los reportados por Medina et al., (2009), quienes encontraron entre 0,64% y 0,87% y al 1,49% reportado por García et al., (2009), pero superiores al 0,02% reportado por Puerto (2012).

Para taninos totales con valores de 0,08%, 0,11% y 0,08%, para Pes, Piv y Psx respectivamente (expresados como % de ácido tánico), no se presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) (Cuadro 4.3); se ha dificultado la comparación con otros estudios dados los diversos métodos empleados para su medición. Puerto (2012), reportó 0,75% de taninos que precipitan proteína; además reportó 0,04% de taninos hidrolizables y 13,5 g/kg para taninos condensados.

En el caso de fenoles totales (FT) y taninos totales (TT) es importante evaluar sus niveles, pues estos metabolitos pueden llegar a tener efectos sobre el consumo de materia seca o la digestibilidad del alimento. Los niveles hallados en el presente estudio se encuentran en un punto que no deberían mostrar tales efectos. Min et al., (2003), reportan que la efectividad de bajas concentraciones de taninos, entre 20 y 45 g/kg de materia seca de forraje, pueden reducir la acción proteolítica en el rumen lo que estaría asociado al tipo de tanino; Frutos et al., (2004), dicen que para que se afecten el consumo de MS y la digestibilidad tendrían que superarse los 50 gramos de taninos condensados por cada kilogramo de materia seca consumida.

Considerando la composición bromatológica y el contenido de taninos del forraje de botón de oro obtenido bajo los tres sistemas de siembra y para las condiciones del estudio, la utilización de forraje de botón de oro en condiciones como las evaluadas puede ser una alternativa para utilizarse en la alimentación animal.

Las diferencias encontradas en los compuestos químicos analizados en comparación con resultados de otros investigadores, posiblemente se deben a cambios en la biosíntesis y el acoplamiento de los componentes de la pared celular de las plantas en las condiciones en las que se realizó el estudio. Particularmente la altura sobre el nivel del mar, las condiciones de los suelos, el grado de fertilidad y el tipo de material colectado para los respectivos análisis.

El contenido de nutrientes como PC, CTN, Ca, P hallados, siguen siendo altos en relación con los contenidos nutricionales de otras forrajeras empleadas en la alimentación del ganado. El uso de botón de oro es viable para el establecimiento de bancos forrajeros destinados a la suplementación alimenticia, bien sea mediante sistemas de corte y acarreo o para la obtención de harina para ser utilizada en la formulación de diferentes tipos de alimentos.

Los contenidos de metabolitos secundarios del botón de oro encontrados no son elevados, por tanto se espera que no tengan influencia sobre la palatabilidad, el consumo y la digestibilidad de la materia seca. El nivel de FT y TT encontrado, al contrario podrían favorecer el paso de proteína hacia el tracto digestivo posterior e incluso propender por una menor producción de metano a nivel ruminal.

En este estudio en condiciones de trópico alto, la *T. diversifolia* establecida tanto a partir de semilla sexual sembrada directamente y luego trasplantada (Psx), plantas obtenidas a partir de estacas (Pes) y plantas obtenidas a partir de semillas manejadas *in vitro* en condiciones de laboratorio (Piv), presentaron niveles importantes en cuanto a la composición bromatológica y el contenido de metabolitos secundarios cuando se cosechó a los 56 días posteriores al corte, lo cual la hace de gran utilidad para ser empleada en diferentes programas de alimentación animal y de manera particular en las ganaderías lecheras de trópico alto.

Los resultados obtenidos en las parcelas de estudio establecidas con Pes, Piv y Psx, mostraron que todas las estrategias son viables para el desarrollo de cultivos tendientes a la producción de *T. diversifolia*.

Los hallazgos con respecto al comportamiento de botón de oro en trópico bajo son de gran importancia y sirven de guía para el estudio de esta especie en otras condiciones agroecológicas; sin embargo se deberían realizar nuevos ensayos sobre comportamiento agronómico y nutricional del botón de oro cultivado en bancos forrajeros en trópico alto, en diferentes épocas del año y distintas condiciones de manejo, que permitan valorar de manera integral el comportamiento de esta especie forrajera.

4.6 Literatura citada

- Alonso, J., T. Ruíz, G. Achang, L. Santos, y R. Sampaio. 2012. Producción de biomasa y comportamiento animal en pastoreo con *Tithonia diversifolia* a diferentes distancias de plantación. *Livestock Res. Rural Dev.* 24:160. <http://www.lrrd.org/lrrd24/9/lazo24160.htm>.
- Alonso, J., G. Achang, L. Santos, y R. Sampaio. 2013. Productividad de *Tithonia diversifolia* y conducta animal a diferentes momentos de comenzar el pastoreo. *Livestock Res. Rural Dev.* 25:192. <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/alon25192.htm>
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists International). 2005. Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC Int., MD, USA.
- De Souza, O. 2007. Influência do espaçamento e da época de corte na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. Tesis de Mestre em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Marília, Unimar. Marília – SP, BRA.
- FAO/IAEA (Food and Agriculture Organization - International Atomic Energy Agency). 2003. Quantification of tannins in tree and shrub foliage. Animal production and health section. A Laboratory Manual. Vienna, Austria.
- Frutos, P., G. Hervás, F. Giráldez, and A. Mantecón. 2004. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish J. Agric. Res.* 2:191-202.
- García, D., M. Medina, L. Cova, A. Torres, M. Soca, P. Pizzani, A. Baldizán, y C. Domínguez. 2008. Preferencia de vacunos por el follaje de doce

especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el Estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Pastos y Forrajes* 31:255-270.

Gualberto, R., O. Souza, N. Costa, C. Bracciali, y L. Gaion. 2010. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray. *Rev. Nucleus* 7:135-149.

Hernández, M. 2011. Cartilla 2 Principales especies arbóreas y arbustivas usadas en sistemas silvopastoriles de la región del Sumapaz-Colombia. Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, COL.

Jama, B., C. Palm, R. Buresh, A. Niang, C. Gachengo, G. Nziguheba, and B. Amadalo. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya A review. *Agrofor. Syst.* 49:201-221.

Kang, J., and G. Bringk. 1995. White clover morphology and physiology in response to defoliation interval. *Crop Sci.* 35:264-269.

Lezcano Y., M. Soca, F. Ojeda, E. Roque, D. Fontes, I. Montejo, H. Santana, J. Martínez y N. Cubillas. 2012. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Rev. Pastos y Forrajes.* 35:275-282.

Mahecha, L., L. Gallego y F. Peláez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* 15:213-225.

Maina, I., S. Abdulrazak, C. Muleke, and T. Fujihara. 2012. Potential nutritive value of various parts of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) as source of feed for ruminants in Kenya. *J. Food Agric. Env.* 10:632-635.

Medina, M., D. García, E. González, L. Cova, y P. Morantinos. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop.* 27:121-134.

Min, B., T. Barry, G. Attwood, and W. McNabb. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages. *Rev. Anim. Feed Sci. Technol.* 106:3-19.

- Nieves, D., O. Terán, L. Cruz, M. Mena, F. Gutiérrez, y J. Ly. 2011. Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14:309-314. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915703030>
- Pasqualotto, M., L. de Souza, S. Gundt, T. Fernandes, A. de Andrade, y M. Alavarse. 2010. Degradabilidade *in situ* e avaliação químico-bromatológica de forrageiras e resíduos agroindustriais da região oeste do Paraná. Anais do XIX EAIC – 28 a 30 de outubro de 2010, UNICENTRO, Guarapuava –PR., BRA.
- Puerto, L. 2012. Evaluación química de tres especies con potencial forrajero del trópico alto y medio. Tesis especialista en Nutrición Animal Sostenible, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia “UNAD”. Bogotá, COL.
- Roa, M., C. Castillo, y E. Téllez. 2010. Influencia del tiempo de maduración en la calidad nutricional de ensilajes con forrajes arbóreos. *Rev. Sist. Prod. Agroecol.* 1:63-73.
- Verdecia, D., J. Ramírez, I. Leonard, Y. Álvarez, Y. Bazán, R. Bodas, S. Andrés, J. Álvarez, F. Giráldez, y S. López. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto. *REDVET.* 12(5). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf>
- Verdecia, D., R. Herrera, J. Ramírez, I. Acosta, R. Bodas, S. Lorente, F. Giráldez, J. González, Y. Arceo, Y. Bazán, Y. Álvarez, y S. López. 2014. Caracterización bromatológica de seis especies forrajeras en el Valle del Cauto, Cuba. *Rev AIA* 18:75-90.

Capítulo 5.

EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray EN EL SUPLEMENTO ALIMENTICIO, SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN VACAS HOLSTEIN EN TRÓPICO ALTO

Este capítulo corresponde al cuarto y quinto objetivos específicos planteados:

Determinar el efecto de la inclusión de *T. diversifolia* en niveles del 0%, 15% y 25% en el suplemento alimenticio, sobre consumo de materia seca, cantidad y la calidad de la leche producida por vacas holstein en el segundo tercio de lactancia.

Evaluar el efecto de la inclusión de botón de oro en el suplemento alimenticio, sobre la relación beneficio costo en una lechería de trópico alto.

Se plantean como hipótesis:

La inclusión de niveles crecientes de botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) en el suplemento alimenticio de vacas holstein en lactancia media mejora el consumo de materia seca, la producción y la calidad de la leche.

La inclusión de niveles crecientes de botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) en el suplemento alimenticio de vacas holstein en lactancia media mejora la relación beneficio costo.

Las hipótesis se sometieron a evaluación, cumpliendo así con el cuarto y quinto objetivos específicos de esta tesis.

Una versión de este capítulo se encuentra en evaluación en la Revista Agronomía Mesoamericana.

Efecto de la inclusión de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en el suplemento alimenticio, sobre la producción de leche en vacas holstein en trópico alto

5.1 Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la inclusión de *T. diversifolia* en niveles del 0%, 15% y 25% en el suplemento alimenticio, sobre consumo de materia seca, cantidad y la calidad de la leche producida por vacas holstein en el segundo tercio de lactancia y evaluar su efecto sobre la relación beneficio costo. Se incluyeron tres niveles de *Tithonia diversifolia*: 0%, 15% y 25% en el suplemento alimenticio, se evaluó el consumo de materia seca (CMS), leche corregida por grasa al 4% (LCG), calidad de leche e impacto sobre la relación beneficio:costo en una lechería de trópico alto. El trabajo se desarrolló en la hacienda La Montaña, San Pedro de los Milagros (Antioquia-Colombia) a 2350 msnm, durante marzo de 2015. A los 56 días se cosechó botón de oro de un banco forrajero ubicado en Guarne (Antioquia-Colombia) a 2453 msnm, se secó artesanalmente, fue molido y almacenado para su utilización. Se prepararon suplementos isoenergéticos e isoprotéicos (1,8 Mcal EN_L/kg y 14% PC), uno para cada tratamiento (C0, C15 y C25). Se utilizaron tres grupos de vacas holstein (entre 70 y 120 días de paridas y entre dos y cinco partos), que pastoreaban praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). Fueron altamente significativas las diferencias para la relación beneficio:costo cuando se incluyó harina de *T. diversifolia* hasta un 25% en la preparación de los suplementos alimenticios. No se encontraron diferencias significativas en LCG (21,99 kg, 22,45 kg y 21,89 kg para C0, C15 y C25, respectivamente), tampoco hubo diferencias para CMS, grasa y proteína; se presentaron diferencias significativas para recuento de células somáticas, nitrógeno ureico en leche y en la relación entre leche producida y suplemento consumido.

Palabras clave: harina para concentrados, forrajeras arbustivas, calidad de leche.

5.2 Abstract

Effect of the inclusion of *T. diversifolia* Hemsl. A Gray, in the food supplement, over milk production by Holstein cows in high tropic.

The aim of this study was to determine the effect of the inclusion of *T. diversifolia* in levels of 0%, 15% and 25% in the food supplement, above dry matter intake, quantity and quality milk produced by Holstein cows in the second third lactation and to evaluate effect over the benefit:cost ratio. Were included three levels of *T. diversifolia*: 0%, 15% and 25% in the food supplements, was evaluated dry matter intake (DMI), milk production corrected to 4% fat (FCM), quality, and cost:benefit ratio, in a high-tropic dairy production system. This work was carried out in La Montaña farm, municipality of San Pedro de los Milagros (Antioquia-Colombia), located at 2350 meters above sea level, during March 2015. At 56 days, botón de oro of a fodder bank located in Guarne (Antioquia-Colombia) at 2453 meters was harvested; it was dried using traditionally methods, was ground and stored for use. Supplements isoenergetics and isoproteics (1.8 Mcal NEL/kg and 14% CP) were prepared, one for each treatment (C0, C15 y C25). Three groups of Holstein cows were used (with 70-120 days in milk and parity 2 to 5), which grazed on Kikuyo grass (*Cenchrus clandestinus*). There were highly significant differences to the benefit:cost ratio, when was included *T. diversifolia* flour until 25% of *T. diversifolia* flour in the preparation of food supplements for milk cows. No significant differences were found for FCM (21,99 kg, 22,45 kg and 21,89 kg for C0, C15 and C25, respectively), neither were found significant differences for DMI, fat and protein milk; were found significant differences for lactose, somatic cell count, milk urea nitrogen and in the milk:supplement intake ratio.

Key words: flour for concentrate supplements, forage shrubs, milk quality.

5.3 Introducción

Los sistemas de producción de leche especializados en Colombia se desarrollan básicamente bajo condiciones de trópico de altura (1800 a 3000 msnm), donde las pasturas generalmente presentan altos contenidos de humedad y baja calidad nutricional. Los productores suministran una importante cantidad de suplementos que ayuden a mejorar la oferta alimenticia para sus animales, cada vez que la base forrajera tradicionalmente sustentada en monocultivos de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), no entrega todos los nutrientes y particularmente no satisfacen los requerimientos energéticos.

Es necesario que la oferta de suplementos para estos sistemas ganaderos se diversifique, con la intención de mejorar el balance de nutrientes ofertados, a la vez que se puedan promover otras condiciones como la mejora en la calidad de los productos obtenidos y la disminución del impacto sobre los costos de producción y posiblemente sobre el medio ambiente.

El manejo de la alimentación requiere de una utilización más efectiva de los recursos disponibles (Mahecha et al., 2002), que permitan obtener un buen balance nutricional. Actualmente la composición de los suplementos alimenticios está basada en materias primas como el maíz, subproductos de la soya o de la transformación e industrialización de algunos cereales, materiales que en muchos casos no permiten que se alcancen los resultados esperados desde lo productivo, lo económico ni en la salud de los animales.

En la búsqueda por mejorar las condiciones nutricionales del ganado lechero especializado, sobre todo si se busca disminuir los impactos que generan el alto uso de alimentos concentrados, la inclusión de materias primas no tradicionales puede llegar a constituir una buena alternativa para este tipo de animales. Encontrar materias primas que sustituyan parcial o totalmente a otras de alto costo o de baja disponibilidad, como son el maíz y la soya por ejemplo, es una ardua tarea entre nutricionistas y ganaderos en la actualidad.

La inclusión de materiales alternativos que promuevan una mejor estabilidad de la actividad fermentativa ruminal, puede hacer que se alcance una mayor eficiencia en la utilización de los alimentos, lo que seguramente podrá repercutir de manera positiva sobre los sistemas de producción bovina de leche.

Actualmente se han estudiado diferentes propuestas para diversificar la alimentación en estos sistemas de producción, entre las que promueven la inclusión de materias primas alternativas como los subproductos agroindustriales o la implementación de bancos forrajeros, que además permitan alcanzar resultados positivos desde el punto de vista económico, social y ambiental (Verdecia et al., 2011).

Entre los bancos forrajeros se destaca de manera particular el botón de oro, especie forrajera que puede constituir una buena alternativa en la alimentación de ganado de alta producción lechera en condiciones de trópico alto; el botón de oro puede utilizarse bien sea mediante sistemas de corte y acarreo para el suministro fresco o para el procesamiento que permita la obtención de harinas que se empleen en la formulación de suplementos alimenticios dado su valor nutricional.

El botón de oro se caracteriza porque de su proteína total una importante fracción es proteína verdadera, contiene un 48,37% de aminoácidos esenciales (Macías y Martínez, 1997) y buen contenido de carbohidratos solubles (Medina et al., 2009); niveles de fósforo y calcio superiores a los encontrados en muchos otros forrajes y su nivel de taninos no es tan alto como para llegar a influenciar de manera negativa el aprovechamiento de sus nutrientes por parte del ganado bovino (Gualberto et al., 2010).

El reemplazo parcial del alimento concentrado por forraje fresco de *T. diversifolia* en vacas cruzadas holstein por cebú, no arrojó diferencias en la producción y la calidad de la leche, por lo que se recomienda su uso como opción estratégica para la producción bovina (Mahecha et al., 2007).

La utilización de esta especie forrajera como harina en la preparación de suplementos alimenticios para vacas holstein no está descrita en la literatura y no se conocen reportes que den cuenta de resultados de esta práctica.

T. diversifolia puede llegar a convertirse en una materia prima importante para la elaboración de suplementos balanceados, los cuales son muy utilizados en las ganaderías de alta producción lechera y disminuyen costos de producción, dado que los cereales como el maíz y los subproductos de oleaginosas como la torta de soya, presentan cada vez precios de mercado más elevados. Por lo tanto, el uso del botón de oro puede llegar a realizar aportes importantes para mejorar la

competitividad y sostenibilidad de los sistemas especializados en la producción lechera en las zonas de trópico alto colombiano.

T. diversifolia constituye una verdadera alternativa para mejorar las condiciones de manejo en los sistemas de lechería (Naranjo y Cuartas, 2011; Galindo et al., 2011; La O et al., (2012), apreciación que aplica de manera especial para el trópico alto en Colombia, donde puede optimizar la producción de leche y su calidad; sin embargo, el uso de esta forrajera requiere que sea evaluado científicamente.

Este estudio pretende mostrar el efecto de la inclusión del botón de oro como materia prima en la elaboración de suplementos balanceados destinados a la alimentación de ganado lechero especializado en condiciones de pastoreo con kikuyo. El objetivo de este trabajo fue analizar la relación beneficio costo de la adición de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray., en vacas holstein.

5.4 Materiales y métodos

El proyecto contó con el aval del Comité de Ética para la Experimentación Animal de la Universidad de Antioquia, mediante acta No 83 de mayo de 2013.

La fase de experimentación desarrollada durante el mes de marzo de 2015, analizó el efecto de la inclusión de botón de oro en el suplemento alimenticio sobre comportamiento productivo de vacas lecheras; el estudio incluyó 12 días como periodo de acostumbamiento y 12 días como periodo experimental. El proceso se llevó a cabo en la hacienda La Montaña, propiedad de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, en el municipio de San Pedro de los Milagros, norte del departamento de Antioquia. La hacienda está ubicada a 2350 m.s.n.m, presenta una temperatura promedio de 14°C, una humedad relativa del 72% y una precipitación promedio anual de 1575 mm, lo que la clasifica en la zona de vida de bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB).

Para la obtención de la harina de botón de oro se mantuvo el cultivo bajo condiciones de trópico alto, en la finca Santa Martha localizada en el municipio de Guarne (Antioquia-Colombia) a 2453 msnm; este cultivo no recibió ningún tratamiento de fertilización durante el periodo de crecimiento. Después de 56 días de rebrote, en el mes de enero de 2015, se cosecharon plantas completas de botón de oro (hojas y tallos) que

fueron secadas en marquesinas; este material se molió y empacó para su posterior uso en la elaboración de los suplementos alimenticios.

Se formularon suplementos isoprotéicos e isoenergéticos, de acuerdo con las características del suplemento utilizado en la hacienda cotidianamente para el lote de vacas de alta producción, donde se estima una composición de 1,8 Mcal/kg EN_L y 14% PC; la harina de botón de oro sustituye parcialmente a otros ingredientes empleados en la preparación del alimento de uso tradicional en la finca, como son maíz amarillo, DDGS golden (maíz golden), maíz extruido, salvado de trigo y torta de soya.

Las materias primas empleadas en la formulación de los suplementos se presentan en el Cuadro 5.1 y la composición nutricional de las tres dietas evaluadas, del pasto kikuyo y de la harina de botón de oro, definida mediante análisis bromatológico se presentan en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.1. Ingredientes utilizados en la preparación de los suplementos concentrados: alimento balanceado de uso tradicional en la finca (C0) y con 15% (C15) y con 25% (C25) de harina de botón de oro (*Tithonia diversifolia*), cosechado en el municipio de Guarne, Antioquia, Colombia. 2015.

Materia Prima	C0*	C15	C25
Botón de oro	0,00	15,00	25,00
Maíz amarillo	38,82	40,00	40,00
DDGS Golden (maíz)	18,00	5,00	10,18
Maíz extruido	15,00	14,41	0,00
Salvado de trigo	12,95	5,00	10,77
Melaza	5,00	5,00	5,00
Semilla de algodón	4,00	4,00	4,00
Harina de pescado	2,00	2,00	2,00
Torta de soya 47	1,37	6,57	0,00
Carbonato de calcio	1,36	1,52	1,54
Sal de mar	0,80	0,80	0,80
Premezcla	0,50	0,50	0,50
Adsorbente micotoxinas	0,20	0,20	0,20
Total	100,00	100,00	100,00

* Composición dieta tradicional empleada en la finca con 1,8 Mcal/kg EN_L y 14% PC; las dietas que incluyen botón de oro se balancearon bajo los mismos parámetros.

Cuadro 5.2. Composición bromatológica de las dietas con diferentes niveles de harina de botón de oro (*Tithonia diversifolia*): alimento balanceado de uso tradicional en la finca (C0) y con 15% (C15) y con 25% y pasto kikuyo, empleadas en la alimentación de las vacas, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.

Nutriente	C0	C15	C25	Harina de Botón de oro	Kikuyo
Proteína cruda	13,31	12,36	13,19	11,66	18,45
Energía bruta (EB)	3797	3765	3748	3618	4219
Energía neta de lactancia (EN _L)*	1,82*	1,80*	1,79*	1,43**	1,25***
Fibra detergente neutro (FDN)	15,87	17,91	25,68	37,17	61,51
Fibra detergente ácido (FDA)	7,48	8,35	14,37	32,40	28,91
Lignina	0,42	0,84	2,51	6,02	1,68
Cenizas	8,40	7,80	9,45	12,14	10,06
Calcio	2,21	1,26	1,92	2,34	1,20
Fósforo	0,30	0,31	0,33	0,22	0,31
Extracto etéreo	3,61	3,43	3,18	2,96	7,90
Humedad	11,83	11,76	13,04	14,22	13,38

* Buxadé (1994): $3,8 \text{ Mcal EB} = 3,22 \text{ Kcal ED y EN}_L = 0,677 * \text{ED} - 0,359$

** Buxadé (1994): $\text{EN}_L = 2,23 - 0,0216 * \text{FDN}$

*** Buxadé (1994): $\text{EN}_L = 2,86 - 0,0262 * \text{FDN}$

La composición energética de 1,8 Mcal de EN_L por kilogramo del suplemento de uso tradicional en la hacienda fue presentada por la empresa que asesora la formulación de los alimentos en la finca. Se determinó la EB a los suplementos y forrajes y se tomaron modelos presentados por Buxadé (1994), a partir de los cuales se estimó la EN_L; se obtuvieron valores de 1,82 Mcal/kg para C0, similar a la composición definida por el productor y se hallaron valores de 1,8 Mcal/kg y 1,79 Mcal/kg, para C15 y C25, respectivamente (Cuadro 5.2).

Para PC, mediante análisis en laboratorio, se obtuvieron valores de 13,31%, 12,36% y 13,19%, para C0, C15 y C25, respectivamente; por lo anterior puede decirse que los suplementos fueron isoenergéticos e isoprotéicos.

El suplemento se suministró en dos raciones por día, en cada uno de los ordeños, la cantidad de suplemento fue definida de acuerdo con las

políticas establecidas en la finca, donde en teoría se suministra un kilogramo del suplemento balanceado por cada tres litros de leche, a partir del octavo litro producido. Las vacas consumieron pasto kikuyo como dieta base, manejadas en un sistema de pastoreo rotacional en franjas.

Para el ensayo se seleccionaron nueve vacas holstein adultas, que tenían entre dos y cinco partos y entre 70 y 120 días de paridas, parámetros que se emplearon para su estratificación y luego fueron distribuidas de manera aleatoria en los tres grupos de estudio.

5.4.1 Consumo de materia seca

Para determinar el consumo de forraje en pastoreo se utilizó como indicador externo el óxido de cromo (Cr_2O_3), se suministraron 20 gramos por vaca y como indicador interno se utilizó la lignina detergente ácido (Lachmann et al., 2003). El óxido de cromo se suministró durante doce días, siete días de acostumbramiento y cinco días consecutivos con colecta de heces de manera individual.

Se determinó el CMS con el siguiente modelo, dado que los animales recibieron suplemento, $\text{CMS} = ((\text{PH} * \text{LDA}_H) - (\text{CS} * \text{LDA}_c)) / \text{LDA}_f$. (PH= Producción heces (Kg MS), LDA_H = lignina detergente ácido de las heces, CS= consumo suplemento, LDA_c = lignina detergente ácido del suplemento balanceado, LDA_f = lignina detergente ácido del forraje). El consumo de suplemento individual se registró diariamente, se tomó el consumo individual de la fase pre experimental como covariable.

5.4.2 Cantidad y calidad de leche

La producción total de leche se determinó por la cantidad diaria individual (dos ordeños), se tomó la producción antes de iniciar la fase experimental como covariable. Se realizó el ajuste de producción de leche al 4% de grasa lo que permitió una mejor comparación de la producción y para evaluar la calidad de leche se tomaron cuatro mediciones individuales durante la fase experimental y se estimó la cantidad de grasa y proteína producidas. Se tomó la calidad de leche en la fase pre experimental como covariable.

Se planteó el siguiente modelo estadístico para producción y calidad de la leche, con tres tratamientos:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + M_o + T_i * M_o + e$$

Donde, μ : media general; T_i : efecto del tratamiento; M_o : efecto del momento de medición; $M_o * T_i$: interacción entre momento y tratamiento; e : error experimental.

Se realizó el ANOVA, lo que permitió establecer diferencias entre las medias de las variables evaluadas en cada tratamiento, lo que fue probado mediante prueba Tukey ($P < 0,05$) y analizado con SPSS (Statistics 22).

5.4.3 Relación beneficio costo

Para determinar la relación beneficio:costo en cada tratamiento fueron considerados la cantidad y el costo del suplemento alimenticio suministrado en cada grupo de estudio; para determinar el costo del suplemento se tuvieron en cuenta los costos de las materias primas empleadas en la elaboración del suplemento, incluyendo el botón de oro.

En cada caso se consideró la cantidad de suplemento suministrado de acuerdo con el tratamiento que recibieron las vacas de cada grupo experimental y se estableció una relación entre la cantidad de leche producida y la cantidad de suplemento consumido, lo que permitió estimar la eficiencia productiva de los animales en cada tratamiento.

Para el cálculo del beneficio obtenido se incluyeron los ingresos por ventas, se empleó el precio básico por kilogramo de leche y sin considerar ninguna bonificación.

Se empleó un diseño completamente aleatorizado, se realizó el ANOVA, lo que permitió establecer diferencias entre las medias de las variables evaluadas en cada tratamiento, lo que fue probado mediante prueba Tukey ($P < 0,05$) y analizado con SPSS (Statistics 22).

5.5 Resultados y discusión

Los resultados mostraron que el botón de oro fue una buena alternativa para la suplementación de vacas lecheras de alta producción, con niveles de inclusión de hasta un 25% de harina en la preparación de suplementos alimenticios, para las condiciones en que se realizó este

estudio. No han sido reportados otros estudios bajo condiciones similares, por lo que no se contó con suficientes soportes de literatura para la discusión de los resultados; se ha reportado un estudio en vacas F1 (holstein x cebú) en el que se incluyeron diferentes niveles de botón de oro en los suplementos alimenticios (Mahecha et al., 2007). Por lo anterior, la discusión se acompañó de reportes del uso de esta forrajera o bajo sistemas de lechería manejados de manera similar.

5.5.1 Consumo de materia seca

La cantidad de suplemento alimenticio suministrado a las vacas lecheras especializadas, y de manera general si se analizan condiciones de trópico alto, puede variar entre uno y hasta cinco kilogramos por litro de leche producida, de acuerdo con el nivel productivo de los animales y la disponibilidad y calidad de los forrajes. La cantidad de suplemento ofrecido a una vaca puede llegar a afectar el consumo de forrajes de la pradera, por lo que debe considerarse este aspecto al definir la cantidad de suplemento a suministrar.

En la finca donde se realizó este estudio, si bien se tiene un plan de suministro de suplemento balanceado, este no siempre se cumple y se modifica de forma involuntaria la cantidad a suministrar, acto que no es consignado en los registros de alimentación. Al inicio del estudio el suministro de suplemento concentrado se ajustó a las recomendaciones de la finca y durante la fase definida como pre experimental y durante la experimental se tuvo pleno control sobre la cantidad de suplemento suministrado.

De acuerdo con lo anterior, la producción de leche encontrada en la finca antes del estudio estaría influenciada por esa mayor cantidad de suplemento ofrecido a los animales, así como también los menores consumos de materia seca en los potreros.

La materia seca consumida estuvo representada en parte por el consumo voluntario de forraje durante el pastoreo y en parte por el suplemento suministrado durante el ordeño de manera individual. El consumo inicial de suplemento se ajustó durante la fase pre experimental, los resultados se muestran en el Cuadro 5.3.

El consumo previo fue considerado como covariable del consumo obtenido durante la fase experimental; con una relación altamente

significativa se definió que el consumo de suplemento en la fase experimental, 7,82 kg, 6,46 kg y 5,95 kg, promedio por día para C0, C15 y C25 respectivamente, fue diferente al consumo encontrado en la fase pre-experimental ($P= 0,001$), lo que indica la posible influencia del tratamiento sobre el consumo de suplemento.

Cuadro 5.3. Consumo de suplemento en fases pre experimental y experimental y consumo de materia seca total de forraje en fase experimental, por vacas holstein que consumieron suplementos con 0%, 15% y 25% de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (C0, C15 y C25), en el municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.

		CO	C15	C25	Error estándar
Consumo de suplemento	Fase Pre experimental	6,56 _a	5,74 _a	5,49 _a	0,439
	Fase Experimental	7,82* _a	6,46* _a	5,95* _a	0,489
Consumo de materia seca	Materia Seca Forraje	11,75 _a	14,08 _a	10,89 _a	1,082
	Materia Seca Total	18,64 _a	19,39 _a	15,99 _a	1,087

Letra diferente en la misma fila indican diferencia significativa ($p<0,05$).

* Diferencia significativa con su covariable de la fase pre-experimental (columnas).

El consumo de materia seca (CMS) estimado mediante indicadores, incluyendo el forraje consumido en el pastoreo y el suplemento consumido durante el ordeño, mostró resultados de 18,64 kg, 19,39 kg y 15,99 kg totales de materia seca, para C0, C15 y C25 respectivamente, de los cuales 11,75 kg, 14,08 kg y 10,89 kg fueron de MS del forraje, para C0, C15 y C25 respectivamente, no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P>0,05$), y se encontró dentro de valores normales de consumo para vacas lecheras en este tipo de sistema productivo y que reciben suplementos balanceados.

El CMS durante el pastoreo para C25 fue menor que para C15, siendo importante relacionarlo con la mayor inclusión de botón de oro, pues metabolitos como los taninos presentes en esta planta pudieron haber incidido en este parámetro, aunque la evaluación realizada en el banco forrajero empleado para este estudio mostró niveles bajos de taninos totales (entre 0,08% y 0,11%), nivel que no tendría efecto negativo sobre CMS (Min, et al., 2003). No se analizaron metabolitos como saponinas o terpenos que también pudieron influir sobre el consumo de materia seca.

La suplementación tiene como objetivo principal aumentar el consumo total de materia seca y de manera primordial el de energía; en general esta práctica lleva a descuidar el aporte adecuado de fibra total en las raciones de las vacas lecheras. Siendo así, el principal reto en las ganaderías de lecheras es llegar a formular raciones que cubran los requerimientos de energía sin reducir el aporte total de FDN. De acuerdo con Campabadal (1999), la relación óptima entre forraje y alimento concentrado depende del volumen de leche producido diariamente; cuando las vacas producen más de 25 kg por día se les puede ofertar una relación 60:40 y cuando producen entre 15 y 25 kg por día una relación 70:30, para materia seca de forraje y de concentrado, respectivamente.

Es de gran importancia mantener un aporte de materia seca a partir de los forrajes no inferior al 60% (Calsamiglia, 1997), de tal manera que se pueda sostener la actividad ruminal acercándose al menos a los principios básicos de este ecosistema; cuando el suministro de suplementos sobrepasa el 40% de la materia seca total se pueden alterar las condiciones ideales del medio ruminal.

La participación del suplemento en el consumo de materia seca en este estudio fue de 41,95%, 30,73% y 31,39%, para los tratamientos C0, C15 y C25, respectivamente. Es de especial importancia reconocer que en el caso de los tratamientos que contenían botón de oro, la participación del suplemento en el consumo total de materia seca fue inferior, a pesar del contenido de un material forrajero que también aporta fibra a la dieta.

No se conocen reportes en vacas suplementadas con alimentos concentrados que contenga harina de botón de oro. Los valores encontrados en este estudio estuvieron entre los rangos reportados por Escobar y Carulla (2003), quienes demostraron que el CMS puede variar entre 12,71 kg y hasta 23,47 kg por vaca al día, esto en función de la oferta de forraje. Al utilizar la FDAi (fibra detergente ácido insoluble) como indicador y se encontró un CMS de 18,3 kg (Correa et al., 2009), similar a los valores hallados en este estudio.

Es importante considerar el efecto de la suplementación y la composición del suplemento alimenticio sobre el consumo durante el pastoreo; Valencia (2013), encontró un CMS total de 18,5 kg y un consumo de 12,6 kg de MS de forraje cuando las vacas pastorearon en praderas de kikuyo y recibieron suplemento, en ambos casos similares a los hallados en este estudio.

El CMS bajo condiciones de pastoreo, puede ser un limitante en los sistemas de producción lechera especializada en el trópico alto, sobre todo si se considera un pasto de alto contenido de humedad como base de la alimentación forrajera, como lo es el pasto kikuyo, que en este estudio presentó niveles de 86,62%, de ahí la importancia de encontrar un buen suplemento alimenticio que ayude a compensar las necesidades nutricionales del ganado lechero, pero que no afecte ni su desempeño productivo ni su salud.

5.5.2 Cantidad y calidad de leche

La cantidad de leche se evaluó a partir de la producción total durante todo el ensayo, la producción media fue de 24,45 kg, 24,28 kg y 24,67 kg de leche promedio por día para C0, C15 y C25 respectivamente, valores que estuvieron influenciados por la producción de leche en la fase pre experimental, la que fue medida como covariable ($P < 0,05$).

Para obtener un análisis más confiable se ajustó la producción de leche al 4% de grasa, medida en los días en que se evaluó el contenido de grasa en la leche; se encontraron valores de 21,99 kg, 22,45 kg y 21,89 kg promedio por día para leche corregida al 4%, para C0, C15 y C25 respectivamente, sin diferencias significativas.

Al realizar un análisis de covariables, se encontró diferencia significativa para la calidad de leche obtenida en la fase experimental, cantidad de grasa y de proteína producida ($p < 0,05$), lo que determinó que existe un cambio para estas variables como efecto de la intervención realizada.

La calidad de la leche obtenida durante el experimento se estimó según la composición porcentual y el volumen producido diariamente por cada vaca durante la fase experimental, se encontraron valores de 0,84 kg, 0,86 kg y 0,82 kg para grasa y de 0,67 kg, 0,65 kg y 0,66 kg para proteína, para C0, C15 y C25, respectivamente, sin diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$); los datos hallados para producción de leche, grasa y proteína se presentan en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Producción de leche y cantidad de grasa y proteína en la leche de vacas que consumieron suplementos con 0%, 15% y 25% de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (C0, C15 y C25), en la hacienda La Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.

		C0	C15	C25	Error estándar
Producción de leche (kg)	Pre experimental	26,00 _a	25,08 _a	25,00 _a	1,966
	Fase Experimental	24,45* _a	24,28* _a	24,67* _a	1,731
	Leche corregida (4% grasa)	21,99 _a	22,45 _a	21,89 _a	0,757
Composición de la leche	Producción de grasa (kg)	0,84 _a	0,86 _a	0,82 _a	0,029
	Producción de proteína (kg)	0,67 _a	0,65 _a	0,66 _a	0,022
	Grasa (%)	3,68 _a	3,64 _a	3,44 _a	0,079
	Proteína (%)	2,92 _a	2,73 _a	2,78 _a	0,036

Letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

* Diferencia significativa con su covariable de la fase preexperimental.

La respuesta esperada a la suplementación alimenticia es el incremento en la producción de leche, sin embargo esta puede ser limitada en cuanto al contenido de proteína y de grasa como consecuencias de la alta suplementación con alimentos ricos en almidones (Bargo et al., 2003).

El suministro de los suplementos generalmente en dos raciones por día, tal como se hace en el sitio donde se realizó el estudio, puede llegar a generar otro tipo de dificultades como puede ser un descenso en el pH ruminal, que a su vez podría afectar la actividad microbiana y conllevar a situaciones como un menor crecimiento microbiano y menor producción de ácidos grasos volátiles.

De acuerdo con los resultados obtenidos al incluir 15% y 25% de harina de botón de oro en los suplementos, se influyó sobre la actividad ruminal reflejado en la relación leche:suplemento encontrada. Es importante recalcar que pueden llegar a ser más importantes los resultados si se fracciona en más de dos raciones el suplemento, lo que puede mejorar la sincronía en el suministro de los sustratos fermentables en el rumen de acuerdo con (Arroyave y Gallego, 2008).

La producción total de leche por día, fue similar entre los tres tratamientos y estuvo entre rangos normales para vacas de alta producción que llevan más de 70 días de lactancia. Se han encontrado entre 21,4 kg y 23,0 kg de leche ajustada, para vacas holstein que consumieron 18,9 kg de kikuyo y 5,9 kg de un suplemento de tipo tradicional (17,6% de PC y 1,57 Mcal EN_L) (Mojica et al., 2009) valores similares a los encontrados en este estudio tanto para el suplemento tradicional, como para los dos que incluyeron 15% y 25% de botón de oro en su composición. No se tienen reportes en sistemas especializados en la producción lechera donde se haya utilizado *T. diversifolia* como materia prima en la elaboración del suplemento alimenticio.

En lo referente a la calidad de la leche obtenida, se hallaron valores muy similares a los que se presentan de manera cotidiana en lecherías especializadas de trópico alto en Colombia, superiores al 3,2% y 3,31% de grasa obtenidos en otra investigaciones (Mojica et al., 2009; Valencia, 2013), y similares al 2,8% de proteína láctea reportado por los mismos autores, quienes trabajaron con animales que consumieron suplemento compuesto por materias primas tradicionales y que pastoreaban en praderas de kikuyo.

La leche obtenida en este estudio se clasificó como una leche buena por el nivel de grasa, y de regular calidad por su valor proteico y de sólidos totales, de acuerdo con la clasificación de calidad de leches para Colombia (Calderón et al., 2006), donde: si los valores de grasa están entre 3,3% y 3,5% puede clasificarse como buena y si los valores están entre 2,6% y 2,8% y entre 11,3% y 11,8%, para proteína y sólidos totales respectivamente, se la clasifica como leche de regular calidad.

Con respecto a la grasa láctea, en porcentaje o total producida, no se presentaron diferencias significativas; los valores de grasa encontrados en este estudio son superiores al 3,31% encontrado en dietas en las que se empleó un suplemento tradicional (Valencia, 2013).

La proteína láctea no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos, esta corresponde a valores aceptables por el mercado. Los valores encontrados pueden estar influenciados en parte por la cantidad de carbohidratos solubles que se emplearon en la formulación de los suplementos; también podría pensarse en que los compuestos fibrosos contenidos en el botón de oro, pudieron incidir en la eficiencia con que se emplea el amoníaco ruminal en la síntesis de proteína microbiana, la que aporta una cantidad importante de proteína para la síntesis láctea.

Se han reportado efectos sobre la concentración de la proteína en función del consumo de materia seca (Bargo et al., 2003; Escobar y Carulla, 2003). No obstante se requiere de otro tipo de análisis que permita evaluar posibles efectos de los taninos contenidos en esta planta sobre la actividad microbiana ruminal, la degradación de la materia seca, la producción de gases, la producción de metano, el paso de proteína al tracto digestivo posterior, entre otros aspectos. Así mismo, poder determinar posibles efectos de otros metabolitos secundarios presentes en la planta como con saponinas y terpenos.

La calidad de la leche en términos proporcionales de lactosa y sólidos totales, los de recuento de células somáticas (RCS) y nitrógeno ureico en leche (MUN) se presentan en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Calidad de la leche de vacas que consumieron suplementos que contenían 0%, 15% y 25% de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (C0, C15 y C25), en la hacienda La Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.

Parámetro	C0	C15	C25	Error estándar
Lactosa (%)	4,46 _a	4,64 _b	4,63 _b	0,025
Sólidos totales (%)	11,86 _a	11,79 _a	11,61 _a	0,102
Recuento de células somáticas (RCS) ¹ .	177,08 _a *	80,08 _b	44,08 _b *	16,619
Nitrógeno ureico en leche (MUN) ² .	18,56 _a *	22,88 _b	24,11 _b *	0,584

Letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

* Diferencia significativa con su covariable de la fase preexperimental.

¹ RCS: en miles de células por mililitro de leche.

² MUN: en miligramos por decilitro de leche.

Las concentraciones de nitrógeno ureico en leche fueron mayores a 18 mg/dl para los tres tratamientos; si el MUN es superior a 18 mg/dl y la proteína de la leche es menor que 3,0%, como se presentó en este estudio, la dieta podría estar excediendo su proteína soluble o degradable en relación con la disponibilidad de carbohidratos fermentables (Acosta et al., 2005).

Si bien las dietas formuladas fueron isoenergéticas e isoproteicas, y dado que los niveles de MUN se asocian con el balance y sincronización entre la energía y la proteína que ingresan al rumen (Arroyave y Gallego, 2008), es posible que no se haya dado una adecuada sincronía entre la

proteína degradable en rumen y la disponibilidad energética, en términos del tiempo requerido para su aprovechamiento por parte de las bacterias ruminales.

Se realizó una aproximación para determinar fracciones proteicas digeribles y no digeribles en rumen de las materias primas empleadas en la elaboración de los suplementos (de Blas et al., 2010); en el caso del botón de oro, por su bajo contenido de taninos, se asumió que su proteína fue de degradación ruminal (Frutos et al., 2004; Min et al., 2003). En este estudio es claro que los niveles de proteína degradable en rumen en relación con la proteína cruda fueron en aumento conforme se aumentó la inclusión de harina de botón de oro en la dieta.

La relación entre la proteína degradable en rumen y la proteína no degradable en rumen, con respecto a la proteína cruda total de la dieta y características de las distintas fracciones de carbohidratos presentes en las dietas evaluadas, se presentan en el Cuadro 5.6.

Cuadro 5.6. Relación entre proteína degradable en rumen y proteína cruda y carbohidratos presentes en las dietas con diferentes niveles de harina de botón de oro (*Tithonia diversifolia*): alimento balanceado de uso tradicional en la finca (C0) y con 15% (C15) y con 25%, empleadas en la alimentación de las vacas, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.

Parámetro	C0	C15	C25
Proteína cruda	13,31	12,36	13,19
Proteína degradable en rumen (%)	7,19	7,06	8,97
Proteína no degradable en rumen (%)	6,12	5,3	4,22
PDR:PC ¹ (%)	54,02	57,12	68,01
PNDR:PC ² (%)	45,980	42,880	31,994
Energía neta de lactancia (Mcal/kg)	1,82	1,8	1,79
Carbohidratos totales no estructurales (%)	42,55	40,95	34,06
Fibra detergente neutro (%)	15,87	17,91	25,68
Fibra detergente ácido (%)	7,48	8,35	14,37

¹ Relación entre proteína degradable en rumen y proteína total de la dieta.

² Relación entre proteína no degradable en rumen y proteína total de la dieta.

Baker et al., (1995), encontraron que los niveles de MUN pueden estar más influenciados por la cantidad de proteína degradable en rumen que por la proteína total de la dieta. Es necesario estudiar el fraccionamiento de la proteína del botón de oro y según su solubilidad acompañar los suplementos con materias primas que contengan carbohidratos que presenten diferente solubilidad, lo que permitiría mejorar la sincronía entre nitrógeno y carbohidratos en el rumen.

Ante una deficiencia de carbohidratos solubles, las bacterias no pueden convertir el amoníaco en proteína microbiana, por lo que puede aumentar su paso a sangre; también es posible que la proteína que llega al intestino delgado presente desaminación a nivel hepático de los aminoácidos absorbidos, en especial por un menor balance energético en aquellas vacas con mayores niveles de producción, en ambos casos este amoníaco incidiría en el aumento de MUN (González y Koenekamp, 2006).

Basados en el consumo de materia seca total, del forraje y del suplemento, se estimaron los consumos de proteína cruda y energía neta de lactancia, lo que permitió determinar la relación PC:EN_L, cuando esta relación está por encima de 105 gramos de PC por megacaloría de EN_L, el MUN será superior a 20 mg/dl (Hess et al., 1999).

La relación entre proteína cruda y energía neta de lactancia encontrada para las vacas con las diferentes dietas evaluadas, se presentan en el Cuadro **5.7**.

Con el aporte de carbohidratos de rápida solubilidad repartidos a lo largos del día, se puede mejorar la utilización de amoníaco ruminal; lo anterior sería posible con el ofrecimiento de bloques multinutricionales de melaza sin urea, directamente en el potrero.

Cuadro 5.7. Relación entre proteína cruda (PC) y energía neta de lactancia (EN_L) totales de vacas que recibieron dietas con diferentes niveles de harina de botón de oro (*Tithonia diversifolia*): alimento balanceado de uso tradicional en la finca (C0) y con 15% (C15) y con 25%, que pastorearon praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.

Parámetro	C0	C15	C25
Consumo suplemento (kg MS)	7,82	6,46	5,95
Consumo de forraje (kg MS)	11,75	14,08	10,89
Consumo total de proteína (gr/día)	3208,72	3396,22	2794,01
Consumo total EN _L (Mcal/día)	28,92	29,23	24,26
Relación PC:EN _L (gr/Mcal)	110,95	116,19	115,15

PC: proteína cruda.

EN_L: energía neta de lactancia.

Es importante considerar que las fuentes de proteína empleadas en este estudio tienen diferentes sitios de degradación; dada la baja cantidad de taninos encontrados en este estudio, la proteína aportada por el botón de oro se degradaría principalmente en rumen; es posible también que la energía ofertada no sea suficiente para hacer un uso eficiente del amoníaco producido en rumen por la degradación de la proteína de la tithonia, lo que podría ser una de las causas del incremento del nitrógeno ureico en leche (Wang et al., 2009 y Lee et al., 2011).

En el caso de C0 la mayor parte de la proteína era no degradable en rumen y al tener el mismo valor energético, llegarían menores cantidades de amoníaco a sangre y por tanto, se darían menores niveles de nitrógeno ureico en leche.

Las vacas con mayor producción de leche también presentaron mayor MUN, asociándose esto al mayor gasto de amino ácidos para la obtención de energía (Khon, 2007). De acuerdo con Gustafsson y Palmquist (1993), existen fluctuaciones en los niveles de urea a lo largo del día, debido al pastoreo o diferentes momentos y tipos de suplementación, por lo que el fraccionamiento del suplemento no solo en dos veces como se hizo en este trabajo, sino en varias tomas a lo largo del día o el uso de sistemas silvopastoriles con ramoneo de botón de

oro, permitirían mejorar la sincronía entre carbohidratos y nitrógeno en el rumen. Acciones como las expuestas pueden propiciar un menor valor para MUN.

La lactosa encontrada presentó diferencias significativas entre C0 y C15 y C25, pero no entre estos dos últimos; de acuerdo con estos niveles la leche encontrada en este estudio fue regular para C15 y C25 y mala para C0 (Calderón et al., 2006). La cantidad de lactosa producida juega un papel de gran importancia en la determinación del volumen de leche que llegue a producirse (Campabadal, 1999) y esta proviene de la glucosa que sea posible retener en la glándula mamaria.

La situación hallada con respecto a la lactosa puede estar reflejando en parte asuntos relacionados con la composición de las raciones ofertadas, puesto que diferentes tipos de carbohidratos, con distintas velocidades de degradación, lleven a diferencias en cuanto a la producción de propionato necesario para la síntesis de glucosa hepática, a su vez requerida para sintetizar lactosa (Reynolds et al., 2003). También podría pensarse que se hayan empleado aminoácidos para la obtención de energía (Auldist et al., 2000 y Reynolds et al., 1994), más aun en el caso de los tratamientos T15 y T25, para los que se presume una mayor degradación ruminal de la proteína.

Ramos et al., (2015), encontraron que cuanto mayor fue el número de células somáticas en la leche, menor fue el contenido de lactosa. Lo anterior puede explicarse en cuanto a que una glándula mamaria sana tendrá células más activas y por tanto puede incrementarse su actividad de síntesis, así la composición de la leche podría estar influenciada por el recuento de células somáticas.

Las células somáticas pueden incrementarse en respuesta a señales antigénicas, para contrarrestar la infección y eliminarla, en vacas no infectadas las células somáticas se encuentran en números que no rebasan las 100,000 por mililitro (Ramos et al., 2015), son diferentes los mediadores químicos desencadenan esas reacciones inflamatorias como consecuencia de la acción de agentes patógenos o de algún otro estímulo.

En el presente trabajo se obtuvieron niveles en el recuento de células somáticas (RCS) considerados como buenos para C15 y C25 y malos para C0 (Valencia, 2013). Los menores niveles en RCS se dieron al incrementar la inclusión de botón de oro en el suplemento y si bien son muchos los factores que pueden asociarse con esta situación en una

ganadería lechera de alta producción, autores como Chagas et al., (2011) y Owoyele et al., (2004), reportaron la importancia y efecto anti inflamatorio de algunos de los principios activos de *T. diversifolia*.

En *T. diversifolia* se han aislado sesquiterpenos de lactona y otros metabolitos secundarios (Chagas et al., 2012), estas son capaces de inhibir la unión del DNA con el NF- κ B (factor de transcripción nuclear de kappa B) en concentraciones micromolares (De las Heras et al., 1999); este factor es un mediador central en la respuesta inmune, que regula la transcripción de genes codificando varias citoquinas inflamatorias, quimioquinas, moléculas adhesivas y enzimas inflamatorias como óxido nítrico sintasa (NOS), ciclooxigenasa (COX), lipooxigenasa (LOX) y fosfolipasa citosólica A2 (ciLA2).

Las tendencias mundiales en la producción lechera apuntan de manera especial a la obtención de productos de alta calidad e inoos para el consumo humano y es precisamente en la finca donde se debería garantizar la obtención de un producto con tales características, que deben ir desde las composicionales hasta las higiénicas. Por lo tanto el uso de *T. diversifolia* en las ganaderías lecheras puede llegar a convertirse en un factor de protección para mastitis bovina.

5.5.3 Relación beneficio costo

La relación entre la leche producida y la cantidad de suplemento consumido en cada tratamiento fue mayor para C25, 4,38 kilogramos de leche por kilogramo de suplemento y presentó diferencias altamente significativas con C0 ($p < 0,001$) y diferencias significativas con C15 ($p < 0,05$). La relación beneficio:costo presentó diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre todos los tratamientos, fue menor para C0 y la mejor relación entre el costo del alimento y el precio de la leche producida para C25. En el Cuadro 5.8 se muestran los resultados de sobre la relación beneficio costo y el precio medio para cada uno de los tipos de suplementos suministrados.

Cuadro 5.8. Relación entre la leche producida, suplemento y precio del suplemento con diferentes niveles de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (C0, C15 y C25) suministrado a vacas de alta producción, en la hacienda La Montaña, municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia, Colombia. 2015.

Parámetro	C0	C15	C25	Error estándar
Relación leche:suplemento	3,12 _a	3,85 _b	4,38 _c	0,102
Precio suplemento (\$_{COP}/kg)	816,95	796,68	725,35	-
Relación beneficio:costo	2,96*	3,71**	4,60***	0,111

Letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

* Diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)

La relación entre la leche producida y el suplemento consumido encontrado en este estudio, mostró que cuando se utilizaron suplementos que incluyeron harina de *T. diversifolia*, se mejoró la eficiencia productiva de los animales; si a esto se le suma que el costo por kilogramo de suplemento fue menor en la medida que se aumentó la harina de botón de oro, se generan aún mejores expectativas para la implementación de esta especie forrajera como materia prima en la formulación de alimentos balanceados.

La relación beneficio costo obtenida estimada entre el precio de venta por litro de leche, sin incluir ningún tipo de bonificación, y el costo por kilogramo de suplemento alimenticio suministrado, dejó en gran ventaja a C25 con respecto a C15 y más aún frente a C0.

Lo anterior debe constituirse en una situación de gran interés, más aún si se estiman las posibles bonificaciones a las que se puedan acceder y de manera importante a lo que se refiere por calidad higiénica y RCS, que en este caso también fueron mejores para C25 y C15 con respecto a C0; la bonificación por RCS puede llegar a significar hasta un 20% más en el precio de la leche.

En la definición del precio de la harina de botón de oro se incluyeron aspectos que contemplaron desde el establecimiento hasta el proceso de secado, molido y empaque; sin embargo es importante que se realicen otro tipo de evaluaciones que permitan definir con mayor exactitud el costo de este insumo. Lo anterior es necesario sobre todo si se llega a plantear el establecimiento del cultivo a niveles industriales, lo que podría

generar una disminución significativa en el costo de producción de harina de botón de oro.

La utilización del botón de oro en la suplementación del ganado lechero especializado, bajo las condiciones en que se realizó este estudio, puede llegar a convertirse en una estrategia nutricional viable, sobre todo si se consideran los efectos hallados en esta investigación, como son el CMS, la producción y calidad de la leche.

El CMS en la pradera y del suplemento no se vio afectada durante la fase experimental; sin embargo es necesario que se realice un proceso de acostumbramiento de los animales al consumo de este suplemento, sobre todo si se considera que cuando este incluye harina de botón de oro es más voluminoso y posiblemente menos palatable.

Los animales deben además contar con tiempo suficiente para el consumo del suplemento durante el ordeño o incluso aún, puede considerarse el fraccionamiento del suplemento en más de dos raciones y así mejorar la respuesta de las vacas. En este estudio las vacas que consumieron el suplemento C25, se demoraron más días para acostumbrarse a su consumo.

La producción de leche estuvo en los niveles normales, sin embargo, se recomienda que se realicen otro tipo de evaluaciones. Una mayor longitud del estudio y el análisis de los efectos a lo largo de la lactancia, acompañado de evaluaciones de tipo reproductivo, balance de nitrógeno, entre otros, pueden ayudar a mejorar la comprensión en lo referente al comportamiento del MUN.

Es importante trabajar en los contenidos de proteína láctea, este es un parámetro determinante en la competitividad de los sistemas de ganadería lechera especializada y es considerado un punto álgido en la actualidad frente a los mecanismos de pago al productor. Se recomienda realizar otros análisis que permitan establecer de manera más precisa los posibles efectos del botón de oro sobre la actividad microbiana ruminal y sobre la calidad proteica de la leche.

Los niveles de grasa encontrados están dentro de los valores considerados como normales para este tipo de sistemas productivos, sin embargo se hace necesario evaluar si se han dado cambios importantes en cuanto al perfil de ácidos grasos en la leche y así mostrar posibles impactos de orden funcional en la leche obtenida.

La calidad de la leche obtenida en función de RCS tuvo mejores condiciones en la medida que se incrementó la inclusión de botón de oro, se recomienda que se realicen estudios más detallados y controlados, donde se evalúen aspectos sanitarios, como por ejemplo presencia de mastitis y otras enfermedades infecciosas, que puedan verse impactadas de manera positiva por la ingesta de botón de oro.

El nivel máximo de 25% de inclusión de botón de oro se comportó de mejor manera que los demás tratamientos, por lo que no se deben descartar niveles superiores de inclusión. Asimismo, es necesario que se consideren otras formas de cosecha y conservación del botón de oro, orientadas incluso a la comercialización de esta harina para la elaboración de alimentos comerciales, por lo tanto se recomiendan nuevos estudios que permitan evaluar los costos de producción de harina de botón de oro en sistemas intensivos de cultivo.

5.6 Literatura citada

- Acosta, Y., I. Delucchi, M. Olivera, y C. Diesta. 2005. Urea en leche: factores que la afectan. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – INIA – Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/56-urea_en_leche.pdf (Consultado 12 nov. 2015).
- Auld M., N. Thomson, T. Mackle, J. Hill and C. Prosser. 2000. Effects of pasture allowance on the yield and composition of milk from cows of different β lactoglobulin phenotypes. *J. of Dairy Sci.* 83:2069-2074.
- Arroyave, E., y L. Gallego. 2008. Análisis de la sincronía entre energía y proteína en vacas lactantes y su relación con la eficiencia en la síntesis de proteína microbial. Tesis Especialista Producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Antioquia. Medellín, COL.
- Baker, I., J. Ferguson, and W. Chalupa. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2424.
- Buxadé, C. 1994. Zootecnia bases de producción animal, tomo II reproducción y alimentación. Ediciones Mundiprensa, Madrid, ESP.

- Bargo, F., L.D. Muller, E.S. Kolver, and J.E. Delahoy. 2003. Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *J. Dairy Sci.* 86:1-42.
- Calderón, A., F. García, y G. Martínez. 2006. Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Rev. MVZ Córdoba* 11:725-737.
- Calsamiglia, S. 1997. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII Curso de especialización FEDNA, Madrid.
- Campabadal, C. 1999. Factores que afectan el contenido de sólidos de la leche. *Nutrición Animal Tropical.* 5:67-92.
- Chagas, D., R. Barbosa, V. da Silva, L. Gobbo, T. Gasparotoc, A. Campanellic, L. Faccioli, and F. Batista. 2011. Chlorogenic acids from *Tithonia diversifolia* demonstrate better anti-inflammatory effect than indomethacin and its sesquiterpene lactones. *J. Ethnopharmacol.* 136:355-362.
- Correa, H., M. Pabón, y J. Carulla. 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Res. Rural Dev.* 21(4):59. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd21/4/corr21059.htm> (Consultado 9 Nov. 2013)
- De Blas, C., G. Mateos y P. García-Rebollar. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 502 pp. Madrid, ESP.
- De las Heras, B., A. Navarro, M. Díaz-Guerra, P. Bermejo, A. Castrillo, L. Boscá y A. Villar. 1999. Inhibition of NOS-2 expression in macrophages through the inactivation of NF-kB by andalusol. *British J. Pharmacology.* 128:605-612.
- Escobar, A., y J. Carulla. 2003. Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* 16:74.
- Frutos, P., G. Hervás, F. Giráldez, and A. Mantecón. 2004. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish J. Agric. Res.* 2:191-202.

- Galindo, J., N. González, A. Sosa, T. Ruíz, V. Torres, A. Aldana, H. Díaz, O. Moreira, L. Sarduy, y A. Noda. 2011. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones *in vitro*. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 45:33-37.
- González, F., y I. Koenekamp. 2006. Adaptaciones metabólicas hepáticas en el período periparto en vacas de alta producción de leche. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Animales, Pontificia Universidad Católica de Chile, CHI.
- Gualberto, R., O. Souza, N. Costa, C. Braccialli, y L. Gaion. 2010. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray. Nucleus 7(2): 135-149.
- Gustafsson, A., and D. Palmquist. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea and milk urea in dairy cows at high and low yields. J. Dairy Sci. 76:475.
- Hess, H.D., H. Flórez, C.E. Lascano, L.A. Baquero, A. Becerra y J. Ramos. 1999. Fuentes de variación en la composición de la leche y niveles de urea en sangre y leche de vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo de Colombia. Pasturas trop. 21:33-42.
- Khon, R. 2007. Use of milk or blood urea nitrogen to identify feed management inefficiencies and estimate nitrogen excretion by dairy cattle and other animals. Florida Ruminant Nutrition Symposium. Department of Animal and Avian Sciences University of Maryland January 30-31, 2007. Gainesville, FL, USA.
- Lachmann, M., O. Araujo, y J. Vergara. 2003. Evaluación de la lignina detergente ácido como marcador para la determinación de la digestibilidad en ovinos. Rev. Científica FCV-LUZ. 13:484-489.
- La O, O., H. González, A. Orozco, Y. Castillo, O. Ruíz, A. Estrada, F. Ríos, E. Gutiérrez, H. Bernal, D. Valenciaga, B. Castro, y Y. Hernández. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. Rev. Cubana Cienc. Agr. 46:47-56.

- Lee, S., S.M. Lee, Y. Cho, D. Kam, S.C. Lee, C. Kim and S. Seo. 2011. Glycerol as a feed supplement for ruminants: *In vitro* fermentation characteristics and methane production". Anim. Feed Sci. Technol. 166-167:269-274.
- Macías, M., y O. Martínez. 1997. Composición en aminoácidos de diferentes fuentes tropicales no convencionales para la alimentación animal. Rev. Computarizada de Producción Porcina 4(3):1-60.
- Mahecha, L., L. Gallego, y F. Peláez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. Rev. Colom. Cienc. Pecu. 15:213-225.
- Mahecha, L., J. Escobar, J. Suárez, y L. Restrepo. 2007. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). Livestock Res. Rural Dev. 19(2):16. [http:// www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm](http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm) (Consultado 9 nov. 2013).
- Maina, I., S. Abdulrazak, C. Muleke, and T. Fujihara. 2012. Potential nutritive value of various parts of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) as source of feed for ruminants in Kenya. J. Food Agric. Env. 10:632-635.
- Medina, M., D. García, E. González, L. Cova, y P. Morantinos. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. Zootecnia Trop. 27:121-134.
- Min, B., T. Barry, G. Attwood, and W. McNabb. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages. Anim. Feed Sci. Technol. 106:3-19.
- Mojica, J., E. Castro, J. León, E. Cárdenas, M. Pabón, y J. Carulla. 2009. Efecto de la oferta de pasto kikuyo y ensilaje de avena sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. Rev. Corpoica - Cienc. Tec. Agrop. 10:81-90.
- Naranjo, J., y C. Cuartas. 2011. Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. Rev. CES Med. Vet. Zootec. 6:9-19.

- Owoyele, V., C. Wuraola, A. Soladoye y S. Olaleye. 2004. Studies on the anti-inflammatory and analgesic properties of *Tithonia diversifolia* leaf extract. *J. Ethnopharmacology*, 90:317-321.
- Ramos, R., V. Bufon, K. Molin, E. Walter, M. Rezende, R. Fagnani y A. Ludovico. 2015. Relationship between somatic cell counts and milk production and composition in Jersey cows. *Rev. Salud Anim.* 37:137-142.
- Reynolds, C., D. Harmon and M. Cecava. 1994. Absorption and delivery of nutrients for milk protein synthesis by portal-drained viscera. *J. Dairy Sci.* 77:2787-2808.
- Reynolds, C., P. Aikman, B. Lupoli, D. Humphries and D. Beever. 2003. Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation. *J. Dairy Sci.* 86:1201-1217.
- Valencia, D. 2013. Efecto de la suplementación de dietas para vacas lecheras con glicerina cruda, sobre algunos parámetros de la fermentación ruminal, producción y calidad composicional de la leche. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, COL.
- Verdecia, D., J. Ramírez, I. Leonard, Y. Álvarez, Y. Bazán, R. Bodas, S. Andrés, J. Álvarez, F. Giráldez, y S. López. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Caucho. *REDVET.* 12(5). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf>
- Wang, C., Q. Liu a, W. Huo, W. Yang, K. Dong, Y. Huang, G. Guo. 2009. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Sci.* 121: 15–20.

Conclusiones generales

El uso de la *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray. en la producción de leche es relevante debido a su contenido nutricional y su nivel de taninos parece no afectar el consumo de materia seca, lo que implica una mayor eficiencia en el uso de los nutrientes de la dieta. El uso de esta planta forrajera puede llegar a mejorar la rentabilidad de los sistemas productivos, si se considera que de los factores involucrados en la empresa ganadera, el más importante es el componente de la alimentación y con el botón de oro se pueden mejorar en forma económica y ecológica los parámetros de producción animal.

El contenido nutricional del botón de oro, particularmente en lo referente a proteína cruda, carbohidratos totales no estructurales, calcio o fósforo, son comparables con los niveles de estos nutrientes en otras especies forrajeras que han venido empleándose en la nutrición del ganado, razón por la que el establecimiento de bancos forrajeros a partir de botón de oro para la suplementación animal, pueden constituir un buen respaldo a los programas de alimentación en las fincas de ganadería lechera especializada y como resultado de esta práctica, pueden esperarse impactos positivos sobre la economía de estas empresas ganaderas.

La propagación de botón de oro (*T. diversifolia*) utilizando semilla sexual para siembra directa en semilleros y luego hacer trasplante a campo es viable; este trabajo presenta un protocolo sencillo y de fácil aplicación para la propagación de la planta mediante el uso de semilla sexual, sin embargo falta aún mucha investigación que lleve hacia la especificación de protocolos para la multiplicación con fines de plantaciones a gran escala.

La calidad del forraje de botón de oro obtenido no presentó grandes cambios en referencia a métodos de siembra empleados y la alta sobrevivencia de las plantas en trópico alto permite considerarlos viables para el establecimiento de *T. diversifolia* y convierte al botón de oro en una especie promisoría para la producción de forraje en condiciones de trópico de altura. Es importante que se realicen estudios a fondo, que ayuden a determinar si vía costos pueden existir diferencias que favorezcan alguno de los métodos para realizar el establecimiento de esta especie a gran escala.

T. diversifolia ha mostrado su alto potencial nutricional en la alimentación de vacas lecheras en un sistema de producción especializado, lo que además propende por un importante cambio en el tipo de impactos generados por estas ganaderías, entre los que vale la pena destacar de manera primordial beneficios económicos y mayor proximidad a los estándares deseados en la calidad de la leche; asimismo, esta forrajera puede ser parte importante en la ayuda para aminorar afecciones en la salud de los animales. Por lo anterior es posible esperar que *T. diversifolia* sea parte de un impacto social real, que mejore las condiciones de los ganaderos colombianos, principalmente de los pequeños y medianos que son más vulnerables a la competencia vía precios.

Este trabajo presenta información que permite recomendar la inclusión de *T. diversifolia* en la dieta de vacas lecheras y aproxima a un mejor conocimiento del impacto que se pueda dar desde lo productivo y lo económico. Es importante que se realicen más trabajos de investigación que evalúen otros niveles de inclusión de botón de oro en los suplementos, es este caso el nivel máximo de 25% de inclusión se comportó de mejor manera que los demás tratamientos, por lo que no se deben descartar niveles superiores.

Se recomiendan nuevos estudios que permitan evaluar los costos de producción de harina de botón de oro en sistemas intensivos de producción de esta especie forrajera y poder demostrar realmente su impacto sobre los costos de producción en las ganaderías lecheras especializadas y en general en la elaboración de alimentos balanceados.

Bibliografía general

- Acosta, Y., I. Delucchi, M. Olivera, y C. Diesta. 2005. Urea en leche: factores que la afectan. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria - INIA - Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/56-urea_en_leche.pdf (Consultado 12 nov. 2015).
- Agboola, D., W. Idowu, y M. Kadiri. 2006. Seed germination and seedling growth of the Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Compositae) in Nigeria, Africa. *Rev. Biol. Trop.* 54:395-402.
- Akinola, J., A. Larbi, G. Farinu y A., Odunsi. Seed treatment methods and duration effects on germination of wild sunflower. *Expl Agric.* 36:63-69.
- Alonso, J., G. Achang, L. Santos, y R. Sampaio. 2013. Productividad de *Tithonia diversifolia* y conducta animal a diferentes momentos de comenzar el pastoreo. *Livestock Res. Rural Dev.* 25:192. <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/alon25192.htm>
- Alonso, J., T. Ruíz, G. Achang, L. Santos, y R. Sampaio. 2012. Producción de biomasa y comportamiento animal en pastoreo con *Tithonia diversifolia* a diferentes distancias de plantación. *Livestock Res. Rural Dev.* 24:160. <http://www.lrrd.org/lrrd24/9/lazo24160.htm>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists International). 2005. Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC Int., MD, USA.
- Arroyave, E., y L. Gallego. 2008. Análisis de la sincronía entre energía y proteína en vacas lactantes y su relación con la eficiencia en la síntesis de proteína microbial. Tesis Especialista Producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Antioquia. Medellín, COL.
- Auldism, M., N. Thomson, T. Mackle, J. Hill and C. Prosser. 2000. Effects of pasture allowance on the yield and composition of milk from cows of different β lactoglobulin phenotypes. *J. of Dairy Sci.* 83:2069-2074.

- Baker, L., J. Ferguson, y W. Chalupa. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 2424.
- Bargo, F., L.D. Muller, E.S. Kolver, and J.E. Delahoy. 2003. Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *J. Dairy Sci.* 86:1-42.
- Buxadé, C. 1994. *Zootecnia bases de producción animal, tomo II reproducción y alimentación.* Ediciones Mundiprensa, Madrid, ESP.
- Calderón, A., F. García, y G. Martínez. 2006. Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Rev. MVZ Córdoba* 11:725-737.
- Calsamiglia, S. 1997. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII Curso de especialización FEDNA, Madrid.
- Campabadal, C. 1999. Factores que afectan el contenido de sólidos de la leche. *Nutrición Animal Tropical.* 5:67-92.
- Carmona, J., D. Bolívar, y L. Giraldo. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 18:49-63.
- Carvajal, T., L. Lamela, y A. Cuesta. 2012. Evaluación de las arbóreas *Sambucus nigra* y *Acacia decurrens* como suplemento para vacas lecheras en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Rev. Pastos y Forrajes* 35:417-430.
- Chagas, D., R. Barbosa, V. da Silva, L. Gobbo, T. Gasparotoc, A. Campanellic, L. Faccioli, and F. Batista. 2011. Chlorogenic acids from *Tithonia diversifolia* demonstrate better anti-inflammatory effect than indomethacin and its sesquiterpene lactones. *J. Ethnopharmacol.* 136:355-362.
- Correa, H., M. Pabón, y J. Carulla. 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Res. Rural Dev.* 21(4):59. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd21/4/corr21059.htm> (Consultado 9 Nov. 2013)

- Dardon, V., y M. Durán. 2011. Cuantificación espectrofotométrica de taninos y análisis bromatológico proximal de cuatro diferentes mezclas de forrajes a base de gramíneas y leguminosas. Trabajo de graduación Lic. en Química y Farmacia, Univ. El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- De Blas, C., G. Mateos y P. García-Rebollar. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 502 pp. Madrid, ESP.
- De las Heras, B., A. Navarro, M. Díaz-Guerra, P. Bermejo, A. Castrillo, L. Boscá y A. Villar. 1999. Inhibition of NOS-2 expression in macrophages through the inactivation of NF-kB by andalusol. *British J. Pharmacology*. 128:605-612.
- De Souza, O. 2007. Influência do espaçamento e da época de corte na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. Tesis de Mestre em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Marília, Unimar. Marília – SP, BRA.
- Delgado, D., J. Galindo, R. González, N. González, I. Scull, L. Dihigo, J. Cairo, A. Aldama, y O. Moreira. 2012. Feeding of tropical trees and shrub foliages as a strategy to reduce ruminal methanogenesis: studies conducted in Cuba. *Trop. Anim. Prod.* 44:1097-1104.
- Escobar, A., y J. Carulla. 2003. Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* 16:74.
- Essiett, U., y E. Akpan. 2013. Proximate composition and phytochemical constituents of *Aspilia africana* (Pers) C. D. Adams and *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray Stems (Asteraceae). *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.* 2(4):33-37.
- Ekeocha, A. 2012. Performance of growing west african dwarf ewe fed mexican sunflower leaf meal based diets. *J. Rec. Adv. Agri.* 1:69-76.
- FAO/IAEA (Food and Agriculture Organization - International Atomic Energy Agency). 2003. Quantification of tannins in tree and shrub foliage. Animal production and health section. A Laboratory Manual. Vienna, Austria.

- Fässler, O., y C. Lascano. 1995. The effect of mixtures of sun-dried tropical legumes on intake and nitrogen balance by sheep. *Trop. Grasslands* 29:92-96.
- Febles, G., y T. Ruíz. 2008. Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles. *AIA* 12(1):5-27.
- Flores, O.I. 1998. Contribución ecológica de especies de leñosas sobre la utilización de nitrógenos bovinos y la fertilidad del suelo. Tesis MSc, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Frutos, P., G. Hervás, F. Giráldez, and A. Mantecón. 2004. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish J. Agric. Res.* 2:191-202.
- Fuentes, M. 2009. Modificación del perfil de ácidos grasos de la leche a través de la manipulación nutricional en vacas lecheras: el papel del rumen. Tesis Ph.D. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, España.
- FUNDESAT. sf. Adelantando la germinación de estacas arbóreas. www.fundesat.utaoundation.org/estacas.htm (Consultado febrero 24, 2013).
- Galindo, J., N. González, A. Sosa, T. Ruíz, V. Torres, A. Aldana, H. Díaz, O. Moreira, L. Sarduy, y A. Noda. 2011. Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones *in vitro*. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 45:33-37.
- Galindo, J., N. González, D. Delgado, A. Sosa, Y. Marrero, R. González, A. Aldana, y O. Moreira. 2008. Efecto modulador de *Leucaena leucocephala* sobre la microbiota ruminal. *Zootecnia Trop.* 26:249-252.
- Galindo, J., N. González, I. Scull, Y. Marrero, A. Sosa, A. Aldana, O. Moreira, D. Delgado, T. Ruiz, G. Febles, V. Torres, O. La O, L. Sarduy, A. Noda, y O. Achang. 2012. Efecto de *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Albizia lebeck* (L.) Benth y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (material vegetal 23) en la población de metanógenos y en la ecología microbiana ruminal. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 46:273-278.

- Galvis, R., H. Correa, y N. Ramírez. 2003. Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 16:237-248.
- Garate, M. 2010. Técnicas de propagación por estacas. Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Ucayali. Ucayali, Perú. pp. 189.
- García, D., M. Medina, L. Cova, A. Torres, M. Soca, P. Pizzani, A. Baldizán, y C. Domínguez. 2008. Preferencia de vacunos por el follaje de doce especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el Estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Pastos y Forrajes* 31:255-270.
- Giraldo, L., G. Medina, y F. Osorio. 2005. Utilización del nitrógeno por los rumiantes. En: M. Pabón, y J. Ossa, editores, *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca*. Fondo Editorial Biogénesis, Colombia, Medellín. p. 45-66.
- González, D., T. Ruiz, H. Díaz. 2013. Sección del tallo y forma de plantación: su efecto en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*. *Rev. Cubana Cienc. Agrícolas.* 47:425-429.
- González, F., y I. Koenekamp. 2006. Adaptaciones metabólicas hepáticas en el período periparto en vacas de alta producción de leche. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Animales, Pontificia Universidad Católica de Chile, CHI.
- Guada, J.A. 1996. XII Curso de especialización FEDNA. Características del sistema de Cornell (CNCPS) como modelo de valoración proteica y energética para rumiantes. Noviembre 7 y 8 de 1996. FEDNA, Madrid, España.
- Gualberto, R., O. Souza, N. Costa, C. Braccialli, y L. Gaion. 2010. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray. *Nucleus* 7(2):135-149.
- Gustafsson, A., and D. Palmquist. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea and milk urea in dairy cows at high and low yields. *J. Dairy Sci.* 76:475.

- Hernández, M. 2011. Cartilla 2 Principales especies arbóreas y arbustivas usadas en sistemas silvopastoriles de la región del Sumapaz-Colombia. Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá Colombia.
- Hervás, G., P. Frutos, E. Serrano, A. Mantecón, y F. Giráldez. 2000. Effect of tannic acid on rumen degradation and intestinal digestion of treated soya bean meals in sheep. *J. Agr. Sci.* 135:305-310.
- Hervás, G., P. Frutos, y A. Mantecón. 2001. Protección de suplementos proteicos frente a la degradación ruminal: utilización de taninos. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/5112/1/Herv%C3%A1s%20et%20al_2001%20\(Divulgaci%C3%B3n\).pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/5112/1/Herv%C3%A1s%20et%20al_2001%20(Divulgaci%C3%B3n).pdf) (Consultado 9 nov. 2013).
- Hess, H.D., H. Flórez, C.E. Lascano, L.A. Baquero, A. Becerra y J. Ramos. 1999. Fuentes de variación en la composición de la leche y niveles de urea en sangre y leche de vacas en sistemas de doble propósito en el trópico bajo de Colombia. *Pasturas trop.* 21:33-42.
- Hess, H.D., J. Gómez, y C.E. Lascano. 2006. Segundo taller taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia. Producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas con mezclas de leguminosas con y sin taninos. 30 de noviembre a 1 de diciembre de 2006. Publ. CIAT 352, Compuimagen. Palmira, Colombia.
- Hof, G., M. Vervoorn, P. Lenaers, y S. Tamminga. 1997. Milk urea nitrogen as a tool to monitor protein nutrition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:3333-3340.
- Jama; B., C. Palm, R. Buresh, A. Niang, C. Gachengo, G. Nziguheba, B. Amadalo. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya A review. *Agrofor. Syst.* 49:201-221.
- Kang, J., and G. Bringk. 1995. White clover morphology and physiology in response to defoliation interval. *Crop Sci.* 35:264-269.
- Khon, R. 2007. Use of milk or blood urea nitrogen to identify feed management inefficiencies and estimate nitrogen excretion by dairy cattle and other animals. Florida Ruminant Nutrition Symposium. Department of Animal and Avian Sciences University of Maryland January 30-31, 2007. Gainesville, FL, USA.

- Lachmann, M., O. Araujo, y J. Vergara. 2003. Evaluación de la lignina detergente ácido como marcador para la determinación de la digestibilidad en ovinos. *Rev. Científica FCV-LUZ*. 13:484-489.
- La O, O., H. González, A. Orozco, Y. Castillo, O. Ruíz, A. Estrada, F. Ríos, E. Gutiérrez, H. Bernal, D. Valenciaga, B. Castro, y Y. Hernández. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. *Rev. Cubana Cienc. Agr.* 46:47-56.
- Lee, S., S.M. Lee, Y. Cho, D. Kam, S.C. Lee, C. Kim and S. Seo. 2011. Glycerol as a feed supplement for ruminants: *In vitro* fermentation characteristics and methane production". *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167:269-274.
- Lezcano Y., M. Soca, F. Ojeda, E. Roque, D. Fontes, I. Montejo, H. Santana, J. Martínez y N. Cubillas. 2012. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Rev. Pastos y Forrajes* 35(3):275-282.
- Lugo, S., F. Molina, I. González, J. González, E. Sánchez. 2012. Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre la producción de materia seca y proteína cruda de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Zootecnia Trop.* 30(4):317-325.
- Lykos, T., G. Varga, y D. Casper. 1997. Varying degradation rates of total nonstructural carbohydrates: Effects on ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production and composition in high producing holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80:3341-3355.
- Macías, M., y O. Martínez. 1997. Composición en aminoácidos de diferentes fuentes tropicales no convencionales para la alimentación animal. *Rev. Computarizada de Producción Porcina* 4(3):1-60.
- Mahecha, L., L. Gallego y F. Peláez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* 15:213-225.
- Mahecha, L., y M. Rosales. 2005. Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el

- trópico. *Livestock Res. Rural Dev.* 17(9):100. <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm> (Consultado 9 nov. 2013).
- Mahecha, L., J. Escobar, J. Suárez, y L. Restrepo. 2007. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Res. Rural Dev.* 19(2):16. <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm> (Consultado 9 nov. 2013).
- Maina, I., S. Abdulrazak, C. Muleke, y T. Fujihara. 2012. Potential nutritive value of various parts of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) as source of feed for ruminants in Kenya. *J. Food Agric. Environ.* 10(2):632-635.
- Manuin, R. 2007. Sobrevivencia y concentración de carbono y de nitrógeno en forrajeras con diferentes frecuencias de corte. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad EARTH, Guácimo, Limón. CRC.
- Márquez, D., y A. Suárez. 2008. El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Rev. Medicina Veterinaria* 16:87-109.
- McSweeney, C., B. Palmer, D. McNeill, y D. Krause. 2001. Microbial interactions with tannins – nutritional consequences for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91:89-93.
- Medina, M., D. García, E. González, L. Cova L, y P. Morantinos. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop.* 27:121-134.
- Min, B., T. Barry, G. Attwood, y W. McNabb. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages. *Rev. Anim. Feed Sci. Technol.* 106:3-19.
- Mojica, J., E. Castro, J. León, E. Cárdenas, M. Pabón, y J. Carulla. 2009. Efecto de la oferta de pasto kikuyo y ensilaje de avena sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. *Rev. Corpoica – Cienc. Tec. Agrop.* 10:81-90.
- Muoghalu J., D. Chuba. 2005. Seed germination and reproductive strategies of *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray and *Tithonia Rotundifolia* (p.m) blake. *Applied Ecology and Environmental Res.* 3(1): 39-46.

- Murgueitio, E., J. Chará, A. Solarte, F. Uribe, C. Zapata, y J. Rivera. 2013. Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 26:313-316.
- Naranjo, J., y C. Cuartas. 2011. Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *Rev. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 6(1):9-19. <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1489/993> (Consultado 22 ene. 2014).
- Nieves, D., O. Terán, L. Cruz, M. Mena, F. Gutiérrez, y J. Ly. 2011. Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14:309-314. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93915703030> (Consultado 9 nov. 2013).
- Olmedo, A. 2009. Influencia de las fases lunares, (menguante y luna llena) sobre la propagación vegetativa del botón de oro *Tithonia diversifolia* para la formación de un banco de proteína. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida Sangolquí, ECU.
- Olmos, J., y G. Broderick. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on ruminal nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1694-1703.
- Owoyele, V., C. Wuraola, A. Soladoye y S. Olaleye. 2004. Studies on the anti-inflammatory and analgesic properties of *Tithonia diversifolia* leaf extract. *J. Ethnopharmacology*, 90:317-321.
- Parrota, J. 1992. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit Leucaena, tantan. SO-ITFSM-52. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- Pasqualotto, M., L. de Souza, S. Gundt, T. Fernandes, A. de Andrade, y M. Alavarse. 2010. Degradabilidade *in situ* e avaliação químico-bromatológica de forrageiras e resíduos agroindustriais da região oeste do Paraná. Anais do XIX EAIC – 28 a 30 de outubro de 2010, UNICENTRO, Guarapuava –PR., BRA.

- Pérez, A., I. Montejo, J., Iglesias, O. López, G., Martín, D., García, I., Milián, y A., Hernández. 2009. *Tithonia diversifolia* (Helms.) A. Gray. Rev. Pastos y Forrajes 32:1-15. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269119696001>
- PROEXPORT (Promoción de Turismo, Inversión y Exportaciones). 2011. Sector lácteo en Colombia. <http://www.portugalcolombia.com/wp-content/uploads/2012/08/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf> (Consultado 9 nov. 2013).
- Phiri, S., I. Rao, E. Barrios, B. Singh. 2003. Plant growth, mycorrhizal association, nutrient uptake and Phosphorus dynamics in a volcanic-ash soil in Colombia as affected by the establishment of *Tithonia diversifolia*. J. Sustainable Agric. 21(3):41-59. http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1300/J064v21n03_05#.UwN Qx2KHiSo (Consultado febrero 18, 2014)
- Puerto, L. 2012. Evaluación química de tres especies con potencial forrajero del trópico alto y medio. Tesis especialista en Nutrición Animal Sostenible, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia "UNAD". Bogotá, COL.
- Ramos, R., V. Bufon, K. Molin, E. Walter, M. Rezende, R. Fagnani y A. Ludovico. 2015. Relationship between somatic cell counts and milk production and composition in Jersey cows. Rev. Salud Anim. 37:137-142.
- Restrepo, J., y M. Suárez. 2005. Principales factores que afectan la actividad celulolítica bacteriana en rumiantes. En: M. Pabón, y J. Ossa, editores, Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca. Fondo Editorial Biogénesis, Colombia, Medellín. p. 15-43.
- Reynal, S., y G. Broderick. 2005. Effect of dietary level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 88:4045-4064.
- Reynolds, C., D. Harmon and M. Cecava. 1994. Absorption and delivery of nutrients for milk protein synthesis by portal-drained viscera. J. of Dairy Sci. 77:2787-2808.

- Reynolds, C., P. Aikman, B. Lupoli, D. Humphries and D. Beever. 2003. Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation. *J. Dairy Sci.* 86:1201-1217.
- Ríos, C, A. Salazar. 1995. Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. *Livestock Res. Rural Dev.* 6(3):25.
- Roa, M., C. Castillo, y E. Téllez. 2010. Influencia del tiempo de maduración en la calidad de ensilajes con forrajes arbóreos. *Sistemas de Producción Agroecológicos* 1(1): 63-73. http://www.sistemasagroecologicos.co/art/vol1_no1_p63-73_roa.pdf (Consultado 26 ene. 2014).
- Romero, O., A. Galindo, E. Murgueitio, Z. Calle. 2014. Primeras experiencias en la propagación del botón de oro (*Tithonia diversifolia*, Hemsl. Gray) a partir de semillas para la siembra de sistemas silvopastoriles intensivos en Colombia. *Trop. and subtropical Agroecosystems* 17(2014):525-528.
- Rueda, S., L. Taborda, y H. Correa. 2006. Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 19:27-38.
- Ruiz, T., G. Febles, V. Torres, J. González, G. Achang, L. Sarduy, H. Díaz. 2010. Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona centro-occidental de Cuba. *Rev. Cubana de Cienc. Agríc.* 44(3):291-296.
- Salazar, A. 1992. Evaluación agronómica del "botón de oro" (*Tithonia diversifolia*) (familia compuesta) y el "pinocho" o "resucitado" (*Malvaviscus penduliflorus*) (familia malvaceae). En: Informe de becarios II semestre de 1991 y I semestre 1992 de la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria Cali pp27-31.
- Solarte, C., C. Rosero, y Y. Eraso. 2012. Comparación de metodologías moleculares para identificar el gen de la kappa caseína en ganado Holstein. *Rev. MVZ Córdoba* 17:2878-2883.

- Soudre, M., F. Mesen, D. del Castillo, H. Guerra. 2008. Memoria del curso internacional "Bases técnicas para la propagación vegetativa de árboles tropicales mediante enraizamiento de estaquillas" IIAP, Pucallpa. Perú. 100 p.
- Tiebre, M., N. Kassi, Y. Kouadio, E. N'guessan. 2012. Etude de la biologie reproductive de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Asteraceae): Espèce non indigène invasive en Côte d'Ivoire. J. Asian Scient. Res. 2(4):200-211.
- Valencia, D. 2013. Efecto de la suplementación de dietas para vacas lecheras con glicerina cruda, sobre algunos parámetros de la fermentación ruminal, producción y calidad composicional de la leche. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, COL.
- Vásquez, C., A. Orozco, M. Rojas, M. Sánchez y V. Cervantes. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemos. Fondo de cultura económica. MEX.
- Verdecia, D., J. Ramírez, I. Leonard, Y. Álvarez, Y. Bazán, R. Bodas, S. Andrés, J. Álvarez, F. Giráldez, y S. López. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto. REDVET 12(5). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf> (Consultado 9 nov. 2013).
- Verdecia, D., R. Herrera, J. Ramírez, I. Acosta, R. Bodas, S. Lorente, F. Giráldez, J. González, Y. Arceo, Y. Bazán, Y. Álvarez, y S. López. 2014. Caracterización bromatológica de seis especies forrajeras en el Valle del Cauto, Cuba. Rev AIA 18:75-90.
- Wang, C., Q. Liu a, W. Huo, W. Yang, K. Dong, Y. Huang, G. Guo. 2009. Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. Livestock Sci. 121: 15-20.