



Tropical Grasslands -Forrajes Tropicales

Online Journal

VOL. 11 N. 2

MAY 2023



ISSN: 2346-3775



International Center for Tropical Agriculture
Since 1967 *Science to cultivate change*

Published by:
International Center for
Tropical Agriculture
(CIAT), Cali, Colombia



In association with:

Tropical Crops Genetic Resources Institute of
the Chinese Academy of Tropical Agricultural
Sciences (TCGRI-CATAS), Danzhou, Hainan,
P.R. China

International Center for Tropical Agriculture (CIAT) retains copyright of articles with the work simultaneously licensed under the *Creative Commons Attribution 4.0 International License* (to view a copy of this license, visit creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Accordingly, users/readers are free to **share** (to copy, distribute and transmit) and to **remix** (to adapt) the work under the condition of giving the proper **attribution**.

Editors

Jean Hanson, Managing Editor

International Livestock Research Institute (ILRI),
Ethiopia

Danilo Pezo, Co-editor (Spanish)

Tropical Agriculture Research and Higher Education
Center (CATIE), Costa Rica

Management Committee

Jean Hanson (Chair),

International Livestock Research Institute (ILRI),
Ethiopia

Liu Guodao (Co-chair),

Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences
(CATAS), P.R. China

Robert J. Clements,

Agricultural Consultant, Australia

Asamoah Larbi,

Agricultural Consultant, Ghana

Michael Peters,

International Center for Tropical Agriculture, Kenya

Danilo Pezo,

Tropical Agriculture Research and Higher Education
Center (CATIE), Costa Rica

Rainer Schultze-Kraft,

International Center for Tropical Agriculture, Colombia

Cacilda B. do Valle,

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
(Embrapa), Brazil

Lyle Winks,

Former editor of “Tropical Grasslands”, Australia

Editorial Board

Caterina Batello,

Food and Agriculture Organization of the United Nations
(FAO), Italy

Huan Hengfu,

Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences
(CATAS), P.R. China

Robert J. Clements,

Agricultural Consultant, Australia

Mario Herrero,

Cornell University, USA

Albrecht Glatzle,

Iniciativa para la Investigación y Transferencia de
Tecnología Agraria Sostenible (INTTAS), Paraguay

Masahiko Hirata,

University of Miyazaki, Japan

Orlando Guenni,

Universidad Central de Venezuela (UCV), Venezuela

Peter Horne,

Australian Centre for International Agricultural
Research (ACIAR), Australia

Jean Hanson,

International Livestock Research Institute (ILRI),
Ethiopia

Johann Huguenin,

Centre de Coopération Internationale en Recherche
Agronomique pour le Développement (CIRAD), France

Michael David Hare,

Ubon Forage Seeds Co. Ltd, Thailand

Muhammad Ibrahim,

Tropical Agriculture Research and Higher Education
Center (CATIE), Costa Rica

Asamoah Larbi,
Agricultural Consultant, Ghana

Carlos E. Lascano,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá,
Colombia

Robert Paterson,
Agricultural Consultant, Spain

Bruce Pengelly,
Agricultural Consultant, Australia

T. Reginald Preston,
University of Tropical Agriculture Foundation (UTA),
Colombia

Kenneth Quesenberry,
University of Florida, USA

H. Max Shelton,
The University of Queensland, Australia

Werner Stür,
Australian Centre for International Agricultural
Research (ACIAR), Australia

Cacilda B. do Valle,
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa),
Brazil

Principal Contacts

Jean Hanson
International Livestock Research Institute (ILRI),
Ethiopia
Email: jeanhanson2010@gmail.com

Danilo Pezo
Tropical Agriculture Research and Higher Education
Center (CATIE), Costa Rica
Email: danilo.pezo@catie.ac.cr

Editorial support
Anny Isabella Yedra and José Luis Urrea-Benítez
International Center for Tropical Agriculture (CIAT),
Colombia
Email: CIAT-TGFT-Journal@cgiar.org

Cover photos: © CIAT, 2023.

Table of Contents / Tabla de Contenido

Review papers / Artículos de revisión

<u><i>Stylosanthes guianensis</i> CIAT 184 – review of a tropical forage legume</u>	<u>95</u>
Rainer Schultze-Kraft, Yang Hubiao, Tang Jun and Liu Guodao	

Research papers / Artículos científicos

<u>Herbage yield and quality of 12 <i>Urochloa</i> cultivars and lines in Northeast Thailand</u>	<u>121</u>
Michael D. Hare	

<u>Efecto a largo plazo del pastoreo rotacional en <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandú sobre indicadores de calidad del suelo</u>	<u>131</u>
Nelino Florida Rofner, Rober Miler Abad Principe, Alex Rengifo-Rojas y Javier Nazar Cipriano	

<u>Palatabilidad relativa de leñosas forrajeras representativas del bosque seco tropical utilizando un método de cafetería</u>	<u>145</u>
Nelson Pérez-Almario, Jairo Mora-Delgado, Dagoberto Criollo-Cruz, Christian Thomas Carvajal-Bazurto, Jorge Mario Moreno-Turriago y Oscar Eduardo Orjuela-Franco	

<u>Comportamiento productivo y química sanguínea en pollitas de reemplazo de ponederas White Leghorn alimentadas con harina de forraje de <i>Tithonia diversifolia</i></u>	<u>160</u>
Ysnagmy Vazquez Pedroso, Bárbara Rodríguez Sánchez, Lourdes Lucila Savón Valdés y Tomàs Elías Ruíz Vázquez	

<u>Influence of shade on productivity and nutritional value of <i>Urochloa decumbens</i> in silvopastoral systems using different spatial arrangements of eucalyptus cultivars</u>	<u>169</u>
Claudinei Alves dos Santos, Alan Figueiredo de Oliveira, Elwira Daphinn Silva Moreira, Lúcio Carlos Gonçalves, Maria Celuta Machado Viana, Miguel Marques Gontijo Neto and Ângela Maria Quintão Lana	

Review Article

Stylosanthes guianensis* CIAT 184 – review of a tropical forage legume

Stylosanthes guianensis CIAT 184 – reseña de una leguminosa forrajera tropical

RAINER SCHULTZE-KRAFT¹, YANG HUBIAO², TANG JUN² AND LIU GUODAO²

¹*International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia.* alliancebioversityciat.org

²*Tropical Crops Genetic Resources Institute (TCGRI), Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (CATAS), Danzhou, Hainan, PR China.* catas.cn

Abstract

A comprehensive review, based on about 180 references, synthesizing research and development about *Stylosanthes guianensis* accession CIAT 184 is presented. This genotype has been widely tested across the tropics and was developed into commercial cultivars in several countries. Agronomic evaluations in a range of disciplines and other research in numerous countries of tropical America, Africa, Southeast Asia and China, and utilization of the legume by farmers are reported. CIAT 184 is particularly successful in southern China, where it gave origin to 5 cultivars. Its outstanding feature is an apparently durable tolerance of the fungal disease, anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*), throughout the tropics, with exception of the savanna ecozone in tropical America. Further assets include adaptation to acid, infertile soils, drought tolerance and high production of nutritious dry matter that can be used as traditional forage for ruminants and as leaf meal or pellets to feed monogastrics. CIAT 184 has also found application for soil conservation and improvement (such as erosion control, mulch and green manure), alone or in association with crops and trees. Published work dealing with basic research, mainly conducted in China, is presented. The review concludes with a brief discussion on the current adoption of CIAT 184 and with suggestions regarding future perspectives and research needs.

Keywords: Adoption, anthracnose, multilocational evaluation, multipurpose use, research, stylo.

Resumen

Se presenta una reseña, basada en algo más de 180 trabajos publicados, sobre la leguminosa *Stylosanthes guianensis* CIAT 184, un genotipo ampliamente investigado a través del trópico y del cual se desarrollaron cultivares comerciales en varios países. Se sintetizan los resultados de evaluaciones y otras investigaciones realizadas en numerosos países de América tropical, África, el sudeste asiático y en China, y se informa sobre los diferentes usos de la leguminosa en los sistemas de producción agrícola. CIAT 184 es particularmente exitoso en el sur de China donde dio origen a cinco cultivares. Su característica sobresaliente es la aparentemente duradera tolerancia a la antracnosis (causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*) a través del trópico, con excepción de la ecozona ‘sabana’ en América tropical. La adaptación a suelos ácidos y de baja fertilidad, la tolerancia a sequía y la alta producción de nutritiva materia seca son otras características destacadas del CIAT 184, junto con su potencial para usos distintos al de forraje para rumiantes, como la producción de harina foliar peletizada para monogástricos. Otros usos son para la conservación y el mejoramiento del suelo (control de erosión, mulch, abono verde), solo o en asociación con cultivos y/o árboles. Se presenta una serie de publicaciones sobre

*Dedicated to the memory of two eminent pioneers of *Stylosanthes* research: Dr Bert Grof and Dr Bai Changjun.

Correspondence: R. Schultze-Kraft, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia.
Email: r.schultzekraft@cgiar.org

investigación básica, conducida especialmente en China. La reseña concluye con una breve discusión de la adopción del CIAT 184 y con sugerencias sobre perspectivas futuras y necesidades de investigación.

Palabras clave: Adopción, antracnosis, evaluación multilocacional, investigación, stylo, uso multipropósito.

Introduction and background

Stylosanthes Sw. [family Fabaceae (alt. Leguminosae)] is a mainly neotropical genus with currently 40 species accepted by the taxonomy of the Germplasm Resources Information Network (GRIN) of the US National Plant Germplasm System ([GRIN 2023](#)). Since many *Stylosanthes* species are found on infertile soils and tolerate drought, the genus, often referred to as ‘stylo’, has been attracting the attention of tropical forage legume researchers since the 1930s ([Burt and Miller 1975](#)).

Owing to its yield potential, a species of particular interest has been *S. guianensis* (Aubl.) Sw., better known up to the late 1960s by practitioners under the name of *S. gracilis* ([Tuley 1968](#); [Audru 1971](#)). In addition to var. *guianensis*, 5 botanical varieties are recognized in this species by GRIN taxonomy ([GRIN 2023](#)). When no botanical variety is mentioned in this paper, ‘*S. guianensis*’ always refers to *S. guianensis* var. *guianensis*.

S. guianensis has a wide natural distribution ranging from latitude 23° N in Mexico to 27° S in Argentina ([Williams et al. 1984](#)) and exhibits a particularly wide morphological diversity ([Costa 2006](#)). Wild populations are mostly found on well-drained, low to medium fertility soils at low to medium elevations (10–1,700 masl, occasionally higher), mainly in regions with wet-subhumid climate¹. Research for cultivar development and use of *S. guianensis*, until the mid 1970s an essentially Australian activity, is documented in the scientific literature. Compilations can be found in 4 key books: Burt et al. ([1983](#)); Stace and Edye ([1984](#)); de Leeuw et al. ([1994](#)); and Chakraborty ([2004a](#)). A factsheet summarizing updated information on *S. guianensis* and its botanical varieties was recently published in the database, ‘Tropical Forages - an interactive selection tool’ ([Cook et al. 2020](#)).

From the 1970s onwards, an important issue has been tolerance of the fungal disease, anthracnose (caused

by *Colletotrichum gloeosporioides*), the biotic factor constraining the use of all better-known *Stylosanthes* species, including *S. guianensis* ([Chakraborty 2004b](#)). The search for genotypes tolerant of this disease and adapted to infertile soils and drought, led to increased efforts, in the 1970s and 1980s, to broaden the genetic diversity available to the research community by exploring the native vegetation and collecting germplasm of *Stylosanthes* in (sub)tropical America. Among the various institutions involved in those collecting and conservation efforts was the International Center for Tropical Agriculture (CIAT), whose genebank conserved a total of 4,200 *Stylosanthes* accessions in May 2020 ([Schultze-Kraft et al. 2020](#)). The subject of this review, *S. guianensis* accession CIAT 184, stems from one of CIAT’s early collecting endeavors in Colombia.

In this paper we review CIAT 184 by compiling, in an essentially region- and country-oriented approach, information from research conducted throughout the tropics and subtropics, with the objective to contribute to continuing interest of the research and development (R&D) community in this genotype. The focus is on information from studies that we consider to be of interest to a reasonably broad readership. Wherever possible, we concentrated on accessible published literature as information sources. A brief analysis of the reasons for the success of CIAT 184 in some regions and lack of adoption in others and some thoughts on future perspectives are presented.

Origin of CIAT 184

The origin dates back to 12 October 1973, when one of the authors (R.S.K.) collected seeds from a *S. guianensis* population at a location (03°13'28" N, 76°33'45" W; 975 masl) close to Jamundí town, south of Cali in the Valle del Cauca department, Colombia. The sampled plants were part of occasionally grazed roadside vegetation (major component: native *Paspalum notatum*). Topography

¹An important exception is the ‘tardío’ morphotype of *S. guianensis*, which is found in dry subhumid savanna climate on sandy and very acid, infertile soils. This morphotype is also known in the literature as ‘*S. guianensis* var. *pauciflora* M.B. Ferreira & Sousa Costa’, a taxon not accepted as a botanical variety by GRIN taxonomy, where it is referred to as *S. guianensis* var. *guianensis*.

in the area is flat and the soil was recorded as a well-drained clayey Ultisol, acid (pH 4.9 in H₂O) and with low phosphorus (1.8 ppm P; Bray II). Annual rainfall in the area is about 1,900 mm.

The collected seed sample entered the CIAT tropical forages collection as accession CIAT 184. Within subsequent germplasm exchanges with genebanks it was alternatively catalogued under different accession numbers (e.g. 'ILCA/ILRI 164' and 'CPI 133548').

Morphological description

The following description is based on that by Cook et al. (2020) for *S. guianensis* var. *guianensis* in general, and complemented with accession-specific observations and measurements of morphological features provided by one of the authors (Y.H.) and with photographic illustrations (Figure 1).

A robust weakly perennial herb, semi-erect, growing to 1.5 m with a strong taproot and small round root nodules. Stem much branched, herbaceous and, with

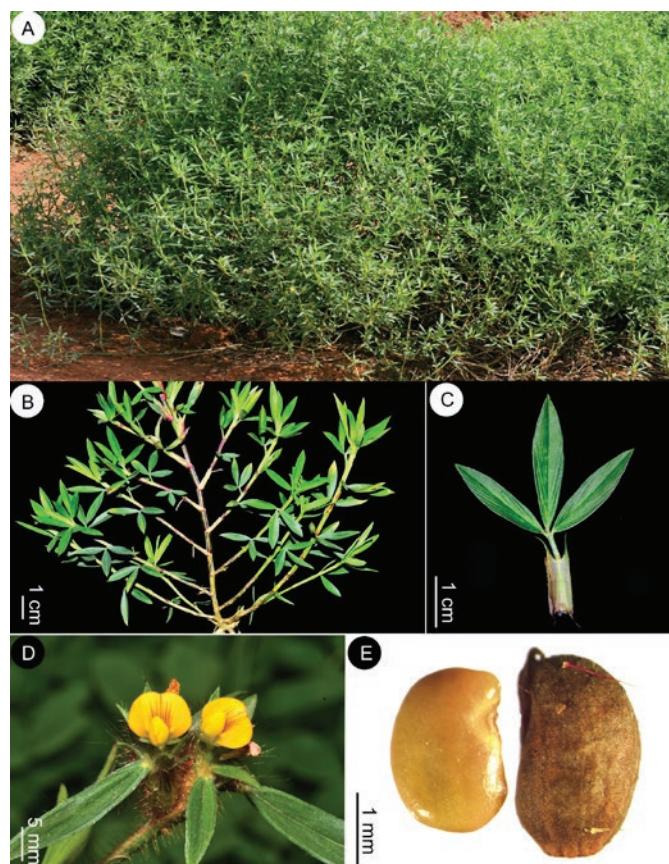


Figure 1. Morphological features of *Stylosanthes guianensis* cultivar 'Reyan No. 2'. A: plant habit; B: branch; C: leaf; D: inflorescence; E: seed and pod. (Photographs by Yang Hubiao, TCGRI-CATAS).

age, becoming lignified at the base, indumentum nearly glabrous. Leaves trifoliolate; petiole ca. 8 mm, rachis ca. 1 mm long; stipules 8–12 mm, adnate to the petiole, teeth ca. 5 mm long; leaflets lanceolate, ca. 30 mm × 4 mm, indumentum as on stems. Inflorescence a loosely capitate spike, terminal or axillary, with more than 4 flowers. Flower subtended by an outer bract with a 5–9 mm long sheath, a ca. 6 mm long outer bracteole and a ca. 5 mm long inner bracteole; calyx tube ca. 5 mm long; standard ca. 8 mm × 4 mm, yellow with slender reddish-brown stripes; wings and keel 3.5–5 mm long. Pod 1-jointed, the article ovoid, ca. 2.6 mm × 1.5 mm, glabrous, indistinctly veined, with a minute beak, strongly inflexed. Seed oblate-ellipsoid, ca. 2.1 mm × 1.5 mm, color varying from yellow to dark brown. About 400,000 seeds per kg.

Evaluation and anthracnose tolerance

Soon after incorporation of CIAT 184 into CIAT's active germplasm collection, the production potential of this accession and its anthracnose tolerance became evident in field nursery observations and greenhouse studies conducted at the CIAT experimental station in Palmira, Colombia; its adaptation to acid, infertile soils was recorded in plots established in the experimental stations of Carimagua and Quilichao (CIAT 1975–1977).

From 1978 onwards, CIAT 184 was included in the legume germplasm set for evaluation in multilocational trials of the International Tropical Pastures Evaluation Network (RIEPT, its Spanish acronym). These trials were conducted in the humid and subhumid tropics of Latin America and the Caribbean, using a standardized methodology for evaluation of adaptation ('Regional Trials A') and agronomic performance ('Regional Trials B') (Toledo and Schultze-Kraft 1982). In 1982, CIAT 184 was also introduced in tropical China along with a set of other legumes and grasses for evaluation in Hainan (Liu Guodao et al. 2004a), within early cooperation between CIAT and the then South China Academy of Tropical Crops (since 1994: Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, CATAS).

During 1989–1993 CIAT 184 was one of the 21 herbaceous legume accessions included in evaluation trials at 17 sites in 9 countries of Subsaharan Africa, within the West and Central African Animal Feed Research Project network (RABAOC, its French acronym), also using a standardized methodology (Rippstein 1998). In the 1990s it was part of the forage germplasm tested in 2 CIAT-CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) R&D

cooperation projects in Southeast Asia: the ‘South-east Asian Regional Forage Seeds Project’ (1992–1994) and the ‘Forages for Smallholders Project’ (1995–1999), which subsequently continued in the form of 2 CIAT-Asian Development Bank (ADB) projects (2000–2005) conducted in partnership with national R&D institutions in up to 8 countries ([Stür et al. 2007](#)).

The most relevant outcome of these early adaptation and agronomic performance studies around the globe was that in addition to adaptation to acid, infertile soils and drought tolerance, CIAT 184 showed a strong tolerance of anthracnose in comparison with the well-known Australian commercial stylo cultivars, such as ‘Cook’, ‘Endeavour’, ‘Graham’ and ‘Schofield’, and with essentially all other *S. guianensis* germplasm accessions tested in those studies^{2,3}.

Regional experiences: Research and development

Tropical America

In the humid tropics, where it was one of 13 accessions from 5 different legume genera (10 species) evaluated in 32 ‘Regional Trials B’ conducted between 1979 and 1991 in Bolivia, Brazil, Colombia, Ecuador and Peru within the RIEPT network system, CIAT 184 proved to be outstanding with respect to environmental adaptation and dry matter production ([Amézquita et al. 1991](#); [Keller-Grein et al. 1992](#)). In contrast, in RIEPT trials conducted in a subhumid savanna climate characterized by a distinct dry season, the accession was badly affected by anthracnose ([Pizarro 1983; 1985; 1988](#)). The presence of antagonistic bacteria on the tissue of stylo plants and prevailing narrow diurnal temperature fluctuations, both preventing the development and spread of the disease in the humid tropics, were reported to explain this contrast between the 2 ecozones ([Lenné 1985](#)).

Results of studies with CIAT 184 in tropical America that we found in the literature, beyond those reported in the aforementioned RIEPT trial compilations ([Pizarro 1983; 1985; 1988](#)) and that of Keller-Grein ([1990](#)), are as follows:

Argentina. The potential of this accession for subtropical conditions with dry and cold winters became evident based on a 3-yr study on a sandy soil in the northwest of Corrientes province, northeast Argentina, where anthracnose is not a major issue and where CIAT 184 along with *S. guianensis* cultivar ‘Graham’ had the highest forage and seed yields among 35 accessions from 6 *Stylosanthes* species ([Ciotti et al. 1999](#)). In the same area on a phosphorus-deficient soil (3.4 ppm P; Bray I), an almost 100 % DM yield increase was observed in response to P fertilizer application as low as 11 kg P/ha for CIAT 184 ([Ciotti et al. 2003](#)).

Colombia. Low P requirements of CIAT 184 and strong response to very low P fertilizer doses in soil from the Colombian Llanos were also shown in the early work at CIAT ([Schultze-Kraft 1976](#)). However, since *S. guianensis* in general succumbed to anthracnose in the subhumid savanna ecosystem (‘Llanos Orientales’), where CIAT’s pasture research in Colombia was focussed in the 1970s and 1980s, studies on CIAT 184 were not continued at that time and resumed in the 1990s in the humid-tropics part of the country (Caquetá department). There, Velásquez et al. ([2004](#)) showed that pre-weaned calves with access to a CIAT 184 pasture drank less milk from their dams, than calves with access to only grass pasture with their dams, allowing 21 % more milk per cow to be sold from the CIAT 184 group, while calves from this group made 30 % higher liveweight gains.

At the basic-research level in Colombia, Sarria et al. ([1994](#)), using an *Agrobacterium tumefaciens*-disarmed strain, showed that an efficient transfer of marker genes to CIAT 184 and regeneration of transgenic plants were possible. Subsequently, Kelemu et al. ([2005](#)) introduced a chitinase-encoding gene from rice into CIAT 184, which resulted in improved resistance of transgenic plants to foliar blight disease (*Rhizoctonia solani*).

Cuba. Based on germplasm evaluations within the RIEPT network ([Pizarro 1988](#)) and follow-up studies, CIAT 184 was considered a promising legume for pasture-based livestock production on poor soils. In 5-year seed production studies, 182–318 kg seed/ha/yr were harvested ([Suárez and Villavicencio 1988](#)). Although

²It should be mentioned that another *S. guianensis* accession, CIAT 136, showed considerable promise in those and other studies. It was collected in 1973 by Pedro J. Argel near the town of Restrepo, Meta department, Colombia. In Africa it is known as ILRI 163 and in tropical China it was released in 2000 as cultivar ‘Reyan No. 7’.

³Whenever accessions of the ‘tardio’ morphotype of *S. guianensis* (= ‘var. *pauciflora*’) were included in those studies, most of them also exhibited strong anthracnose tolerance.

the accession was not formally released, ‘cv. CIAT-184’ was promoted and used in protein banks. It has been dominating *S. guianensis* research in Cuba during the past 3 decades, with a focus on callus formation/tissue culture for generation of plants and on tolerance of soil salinity ([Mesa et al. 1993](#); [Fuentes et al. 2000, 2008, 2015](#); [González et al. 2000](#); [Fuentes Alfonso et al. 2008](#)).

Peru. CIAT 184 showed high productivity on the acid, infertile soils that prevail in the Peruvian humid tropics, with anthracnose tolerance ([Pizarro 1983, 1985](#); [Keller-Grein 1990](#)). This resulted in the Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA) and Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA) releasing CIAT 184 in Peru as cultivar ‘Pucallpa’ in January 1985 ([Reyes et al. 1985](#)). The promoted use was mainly as a pasture legume for association with grass, in pure stands as a protein bank or to rehabilitate degraded pastures.

Subsequently, Reátegui et al. ([1995](#)) and Loker et al. ([1997](#)) reported from long-term on-farm research in the Pucallpa area (13 farms, 4 years management), where CIAT 184 (cultivar ‘Pucallpa’) was used as a legume species in grass-legume pastures, that ‘Pucallpa’ established well, even with no fertilizer input. However, with time its proportion in the mixture declined under farmers’ grazing management. It is noteworthy that, in those cases where the pastures were burnt to control weeds and pests, the persistence of ‘Pucallpa’ improved.

In more recent research in the Pucallpa area, partial substitution of forage for milk from dam by calves with access to a ‘Pucallpa’ pasture led to a 23 % increase of milk sold per cow without affecting growth of calves ([Vela 2004a](#)). Incorporating stubble of the legume in the soil had the same yield-increasing effect on a subsequent rice crop as 50 kg N/ha fertilizer ([Vela 2004b](#)).

Velásquez Ramírez et al. ([2021](#)) showed that, when used as cover crop, ‘Pucallpa’ had a significantly positive effect on soil restoration of alluvial gold mine spoils in the Peruvian Amazon, in terms of several soil chemical, physical and biological parameters.

Puerto Rico. Under commercial dairy farm conditions with 10 acres of stylo in the South Region (Guayama), an average of 10.8 t hay/ha with 25 % moisture content was obtained in 1991/92 in each of three 4-monthly cuts from cultivar ‘Pucallpa’, with mean CP concentrations of 16–18 %. Fed as a supplement to about 290 kg replacement heifers grazing common guinea grass, a daily ration of 8.7 kg of stylo hay per animal was able to replace 5 kg of commercial concentrate (A. Arias-Pedraza, pers. comm. December 2022).

Tropical Africa

R&D with CIAT 184 in tropical Africa concentrated on West and Central Africa and Madagascar. The accession was, however, not available for fodder bank studies conducted in West Africa by International Livestock Research Institute (ILRI) and partners in the early 1980s ([Mohamed-Saleem and Suleiman 1986](#)). In final reports of the RABAOC project on the agronomic evaluation of a set of grass and legume species in humid and subhumid environments in Benin, Cameroon, Central African Republic, Côte d’Ivoire, Ghana, Guinea, Nigeria, Senegal and Togo ([NARS-CIRAD/EMVT-CIAT-ILCA 1995](#); [Rippstein 1998](#)), CIAT 184 consistently ranked among the top herbaceous legumes, out of 21 accessions representing 17 species. Further regional studies involving CIAT 184 ([de Leeuw et al. 1994](#)) are country-specific and referred to below. In some of the publications on R&D in tropical Africa, the accession is mentioned under its synonym numbers ‘ILCA/ILRI 164’ or ‘FAO 46004’.

Benin. Saito et al. ([2010](#)) concluded from a tillage management experiment in southern Benin that manual tillage combined with a CIAT 184 stylo fallow is a recommendable practice for smallholder farmers to improve upland rice productivity.

Cameroon. Several studies with FAO 46004 (CIAT 184) were conducted in the Adamawa Plateau. In an agronomic evaluation of 17 *Stylosanthes* accessions, CIAT 184 was outstanding in terms of dry matter production, anthracnose tolerance and seed yield (400 kg/ha) ([Yonkeu et al. 1994](#)). While Pamo and Yonkeu ([1994](#)) showed increased grass production of a subsequent *Urochloa ruziziensis* crop after harvesting stylo for hay during 2 years, Enoh et al. ([1999](#)) reported from dry-season sampling of 4–5 yrs old on-farm and on-station stylo-grass (*U. ruziziensis*) and stylo-native pasture (mainly *Hyparrhenia* and *Panicum*) paddocks (which they called “fodder banks”) increased dry matter yields and nutritive value in comparison with grass-only pastures. Poor management and yearly bush fires were mentioned as major limitations to the promoted stylo-grass technology.

Côte d’Ivoire. Based on a study at 5 benchmark sites representative of upland rice systems with contrasting edaphoclimatic conditions, Becker and Johnson ([1998](#)) identified *S. guianensis* (accession CIAT 184 according to M. Becker, pers. comm. February 2022) as a promising soil-improving and weed-suppressing fallow legume species, particularly for acid infertile forest and savanna

soils. In feeding studies with rabbits, sun-dried hay of CIAT 184 was successfully included as fiber source up to 30 % in feed pellets ([Kouadio et al. 2021; 2022](#)).

DR Congo. Bulakali et al. ([2013](#)) tested the seed-production potential of 3 *S. guianensis* accessions at 2 sites on the Batéké plateau and found that, by the soil-sieving method, 600 kg seed/ha could be harvested from CIAT 184, at a total production cost of USD 1.31/kg.

Guinea. CIAT 184 was introduced as part of RABAOC trials and was reported as useful for improvement of natural pastures in Guinea ([Elbasha et al. 1999](#)).

Madagascar. In Madagascar, the use of CIAT 184 (and other legumes and grasses) as soil cover in no-till agriculture ('conservation agriculture') is being promoted in a manual including a species factsheet on *S. guianensis* ([Husson et al. 2008](#)) and a chapter containing description and discussion of *S. guianensis*-based conservation agriculture systems ([Husson et al. 2013](#)). The manual's explicit recommendation of CIAT 184 is because of anthracnose tolerance.

Examining the relationship between biomass removal for forage and the mulch cover remaining for a subsequent no-till rice crop, a study on 91 farmers' fields using CIAT 184 and 3 other legumes, showed the interdependence between cover species used, soil cover rate and mulch quantity and quality ([Naudin et al. 2011](#)). In a no-till experiment with upland rice, soil cover by CIAT 184 mulch as high as 95 % was necessary to effectively control emerging weeds ([Naudin et al. 2012](#)). In another conservation agriculture study, Randrianjafizanaka et al. ([2018](#)) found that of 4 cover legumes, CIAT 184 provided the most effective control of the parasitic weed, *Striga asiatica*. Using the natural abundance method, Zemek et al. ([2018](#)) measured N fixation in CIAT 184 shoots over 17 months ranging from 96 to 122 kg N/ha.

In a feeding trial, Razafinarivo et al. ([2014](#)) showed the potential of CIAT 184 in a mixture with *Urochloa brizantha* for feeding dairy cows. From another feeding trial with dairy cows, Rakotomanana ([2021](#)) concluded that, although not increasing milk yields, stylo CIAT 184 silage (in the publication erroneously referred to as 'CIAT 194') contributed to improved physical condition of dairy cows in the dry season.

In 2021, a facility to produce CIAT 184 feed pellets was established at Antananarivo as part of Madagascar-China cooperation.

Nigeria. As Nigeria hosted the Subhumid Research Site and Humid Research Site of ILRI, a considerable portion of the research on *Stylosanthes* in West Africa during

the 1980s and 1990s was done in this country. Several evaluation studies in the dry-subhumid Northern Guinea Savanna ecozone were done by Tarawali et al. ([1994](#)), who reported that ILRI 164 (CIAT 184) was outstanding in terms of anthracnose tolerance, forage production and persistence. This was complemented by the highest grain yield of a subsequent maize crop, probably due to the accession's high dry matter production ([Tarawali 1994](#)). However, evaluating it in a fodder bank situation, Peters et al. ([1994](#)) recorded that ILRI 164 competed poorly with invading native vegetation. In a relative-palatability test under grazing, Peters et al. ([2000](#)) reported high palatability of ILRI 164 throughout the year, possibly associated with the greenness and leaf retention of the accession well into the dry season. Seed yields recorded in that area across 3 years ranged between 57 and 106 kg/ha/year ([Kachelriess and Tarawali 1994](#)).

In a small-plot grazing experiment conducted in the more humid Derived Savanna ecozone, Tarawali et al. ([1999](#)) showed that ILRI 164, in association with native *Megathyrsus maximus*, was particularly valuable in the dry season when it led to higher liveweight gains of grazing calves than grass alone plus rice bran supplement. In the same environment and working with mixtures of legume species under grazing, Peters et al. ([2001](#)) reported that ILRI 164 had potential to contribute to stable and productive mixtures. In the same environment, assessing species mixtures primarily used as cover crops and improved fallow, Tarawali ([2000](#)) showed that ILRI 164 was a suitable component in several 3-species mixtures.

In that same Derived Savanna zone of subhumid southwest Nigeria, Muhr et al. ([1999a; 1999b](#)) conducted several experiments to test and analyze the short-term ley potential of 11 legume species for crop-livestock systems. They reported that ILRI 164 had the highest DM yields and that, in spite of dry-season utilization of the forage, grain yields of a subsequent corn crop exceeded those after natural fallow by up to 147 %, equivalent to 96 kg fertilizer N/ha. In subsequent farmer-controlled trials, ILRI 164 ranked highest under the prevailing low-input management ([Muhr et al. 2001](#)).

S. guianensis CIAT 184 was released as 'ILRI-164' in 2000 in Nigeria ([Nigerian Seed Portal Initiative](#)).

Southeast Asia

In tropical Asia, network research in the 1990s on forages, including *S. guianensis* CIAT 184 ('Stylo 184'), was conducted mainly within several regional CIAT-CSIRO-ADB R&D projects, in partnership with

national institutions in up to 8 countries (Cambodia, China, Indonesia, Lao PDR, Malaysia, Philippines, Thailand and Vietnam). There are several reports and papers informing about the advances and research results of these projects with contributions from individual countries ([Stür et al. 1995, 2000a, 2002; Stür 1997, 1998](#)). All documents indicate that, based on multilocational and on-farm trials, of all herbaceous legume germplasm tested, Stylo 184 was consistently among the top legumes regarding adaptation and productivity in a wide range of ecophysical environments, as well as acceptance by farmers. It was ultimately one of the 2 legumes (the other was *Centrosema molle* CIAT 15160 named ‘Barinas’), that participants in the Forage Seeds Project recommended in 1994 for release throughout SE Asian countries ([Stür et al. 1995](#)). In a final, development-oriented overview, Stür et al. ([2007](#)) reported that, of all legume species and accessions tested during the 13 combined project years, the only legume ultimately used by farmers was Stylo 184. The primary use is as cut-and-carry livestock feed.

The most noteworthy country-specific results concerning CIAT 184 include:

Cambodia. Based on a 4-yr R&D project with large-ruminant-keeping smallholder farmer participation in 6 villages in southern Cambodia, including comprehensive forage and livestock production measurements, Bush et al. ([2014](#)) found that growing introduced forage species (4 grasses and Stylo 184) was a credible entry point for converting livestock keepers into livestock producers. From a review of forage options to sustainably intensify smallholder farming systems on sandy soils in Cambodia (and southern Laos), Philp et al. ([2019](#)) concluded that Stylo 184 was the only forage legume to be recommended for drought-prone areas with acid, sandy soils. At the livestock nutrition level, Pen et al. ([2013](#)) reported that supplementation of a basal rice straw-grass diet with 30 % of CIAT 184 significantly increased forage intake and N balance of zebu cattle.

Indonesia. In a 3-yr multilocational trial (6 sites in East, Central and South Kalimantan), CIAT 184 (‘Pucallpa’), along with *C. molle* CIAT 15160, stood out as the only well-adapted and productive accessions among a total of 35 legume species and accessions tested ([Cameron et al. 1995](#)). Liu Guodao et al. ([1997](#)) reported that, in East Kalimantan, Stylo 184 is used to rehabilitate degraded *Imperata cylindrica* uplands. In eastern Indonesia, after 6 years of participatory research supported by the Australian Centre for International Research (ACIAR), the resulting manual recommends CIAT 184 (plus the Australian

composite *S. guianensis* hybrid cultivars, ‘Nina’ and ‘Temprano’) for use in East Nusa Tenggara province, mainly as a component of fodder banks ([Nulik et al. 2013](#)).

Lao PDR. Following a first report by Phengsavanh ([1999](#)), Phengsavanh and Phimphachanhvongsod ([2007](#)) summarized that, of 118 legume species and accessions tested during several years at 5 sites in upland areas across the country, Stylo 184 showed the broadest adaptation, including dry season tolerance, to different environments; it was ultimately the only legume selected by farmers for use to feed not only ruminants but also pigs. The benefits of the latter use were reduced time for collecting and cooking natural feed and increased growth rates of pigs.

The potential and adoption of Stylo 184 for smallholder pig feeding in Laos were subsequently summarized by Phengsavanh et al. ([2008](#)) and Stür et al. ([2010](#)). Individual studies were concerned with the role of Stylo 184 for: replacement of rice bran ([Keoboualapheth and Mikled 2003](#)); combination with cassava leaves as protein supplements to a basal diet of broken rice ([Norachack et al. 2004](#)); mixture with cassava foliage leading to increased DM intake and N retention in comparison with a basal diet ([Khoutsavang et al. 2006](#)); use by smallholder farmers in the uplands as locally grown protein supplement ([Kopinski et al. 2008](#)); ensiling in mixture with taro leaves ([Kaensombath and Lindberg 2013](#)); and replacement of soybean protein ([Kaensombath et al. 2013](#)). They were complemented with combined agronomic/nutritive value studies ([Kaensombath and Frankow-Lindberg 2012; Phengsavanh and Frankow-Lindberg 2013](#)).

Regarding the potential of Stylo 184 as forage for goats, Keopaseuht et al. ([2004](#)) found that forage intake and digestibility were unexpectedly reduced when leaf only was offered rather than branches with intact leaves, while Phengsavanh and Ledin ([2003](#)) reported that the inclusion of Stylo 184 in a grass diet (*Andropogon gayanus*) improved the quality of the diet, resulting in higher intake and better growth rates of animals. Stylo 184 as basal diet for growing rabbits was not successful ([Phimmmasan et al. 2004](#)), an observation that was at variance with reports from Côte d’Ivoire ([Kouadio et al. 2021; 2022](#)).

In northern Laos, Saito et al. ([2006](#)) showed the potential of Stylo 184 as improved fallow/relay crop for increased subsequent upland rice production of 0.6 t/ha with 60 % reduced weed population in comparison with natural fallow.

Malaysia. Assessing the production potential of 47 legume accessions, reportedly being shade-tolerant,

as weed-controlling soil cover and feed for sheep grazing under young rubber trees, Ng et al. (1997) found that CIAT 184 along with *S. scabra* cultivar ‘Seca’ presented consistently highest DM yields in 2 experiments with photosynthetically active radiation means of 40 and 70 %, respectively. Chen et al. (1995) reported seed yields, obtained in Northwest Peninsular Malaysia, in the range of 230–390 kg/ha.

Myanmar. Stylo 184 was included in evaluation of 5 herbaceous legumes in a drought-prone environment without fertilizer application and irrigation (Gyue et al. 2021). The authors considered Stylo 184 to be a “good” forage because of its DM yield, high crude protein concentration and gas production and low fiber concentration.

Philippines. Stylo 184 showed excellent adaptation to all environments where it was evaluated, particularly on farms with acid soils (Lanting et al. 1995). Horne et al. (1997) mentioned that in Mindanao it is used to control soil erosion and suppress growth of *Imperata cylindrica*, when establishing forestry plantations. In northern Luzon at about latitude 18° N, Pardinez et al. (2000) reported seed yields from 3 sites and 2 years averaging 201 kg/ha/yr. Based on a feeding trial with sheep, Lanting et al. (2003) showed the potential of Stylo 184 as a protein supplement in low-quality (rice straw) basal diets.

Thailand. In 1996, the anthracnose-susceptible *S. guianensis* cultivar ‘Graham’ was replaced by disease-resistant Stylo 184 (Phaikaew and Hare 2005), which was released by the Department of Livestock Development in 1997 as ‘Ta Phra’ stylo. Research on CIAT 184 concentrated on the northeastern region of the country characterized by infertile, sandy soils. For southern Thailand, Satjipanon et al. (1995) mentioned an adaptation study conducted in Narathiwat, where CIAT 184 showed promise on an acid, infertile soil. In a subsequent cutting management trial at Narathiwat, 50-day cutting frequency and 20-cm cutting height gave the best result for CIAT 184 yield and nutritive value combined (Sukkasem et al. 2003).

In the northeast, Stylo 184 was shown to have potential for intercropping with cassava (Kiyothong and Wanapat 2004a). In a dairy cow feeding trial, supplementing cassava leaf hay with Stylo 184 hay reduced concentrate use and resulted in improved milk yield and quality, and ultimately higher economic returns (Kiyothong and Wanapat 2004b). Stylo 184 can also successfully be used as silage, alone or in mixture with guinea grass

(Bureenok et al. 2016). Fermentation quality and nutritive value of the legume could be significantly improved by inoculation with thermotolerant lactic acid bacteria (LAB) isolated from fermented juice of tropical forage crops (Pitiwittayakul et al. 2021). From experiments on inter-row planting of legumes to improve crude protein concentration in pastures of *Paspalum atratum* cultivar ‘Ubon’, Hare et al. (2004) concluded that *Stylosanthes* species, including ‘Ta Phra’ stylo, are suitable legumes on infertile upland soils of northeast Thailand. Homma et al. (2008) found in farmers’ field trials that stylo as relay crop, used in the dry season for livestock feeding, did not affect subsequent rainfed-rice yields.

Optimization of ‘Ta Phra’ stylo seed production and quality was the subject of several studies (Kiyothong et al. 2005a; 2005b). While seed yields of about 1,200 kg/ha were obtained in one study when the nylon-gauze-bag method was used (Kiyothong et al. 2002), Phaikaew et al. (2004) reported a range of 300–1,400 kg seed/ha, depending on cutting management, and Hare et al. (2007) reported 365 kg/ha with a 1,000-seed weight of 2.59 g (equivalent to almost 390,000 seeds/kg).

Na Chiangmai et al. (2013) concluded from a field study that ‘Ta Phra’ stylo was not shade-tolerant. This finding is at variance with the report from Malaysia (Ng et al. 1997).

At the laboratory level, a study on regenerative capacity of Stylo 184 showed that in-vitro culture of this accession is a suitable tool for shoot generation, even after 3 years maintenance of the culture (Veraplakorn et al. 2012). Both the activity of antioxidative enzymes in in-vitro shoots and ion accumulation in seedlings can be used to distinguish between Stylo 184 clones in regard to their salt tolerance (Veraplakorn et al. 2013a; 2013b).

Vietnam. Khanh and Ha (2007) reported that, as a result of regional evaluations of 70 accessions for adaptation to the environmental conditions of the Dak Lak Central Highlands, Stylo 184 was the only herbaceous legume ultimately selected by upland farmers for cattle feeding. Thang et al. (2010) found that Stylo 184 foliage, alone or in mixture with cassava leaves, improved DM intake, digestibility and liveweight gain of cattle fed a basal diet of urea-treated rice straw. As a result of on-station and on-farm research in South Central Coastal Vietnam, where several grasses and Stylo 184 were evaluated on sandy soils, farmers (n=45) preferred high-yielding grasses (on-station DM yields up to 50 t/ha/yr) to the only legume tested (CIAT 184; up to 17 t DM/ha/yr) (Ba et al. 2014).

China

The importance attributed to *S. guianensis* in (sub)tropical China is reflected by a slogan coined in 2011 by the former Minister of Agriculture of the People's Republic of China, He Kang: *Alfalfa in the North and stylo in the South*. It is also reflected by a large number of studies, mainly on CIAT 184 and cultivars developed from this accession, published in Chinese language. While those studies deserve being categorized and compiled in a separate review or annotated bibliography, in the present document we concentrate on Chinese research published in English and accessible in international journals and databases.

CIAT 184 was introduced into tropical China in 1982 and within a few years had become an important forage legume ([He Chaozu and Schultze-Kraft 1988](#)). Thereafter, its continuing good performance and anthracnose tolerance are dealt with in a number of reports on forage R&D ([Liu Guodao and Kerridge 1997](#); [Liu Guodao et al. 1997, 2004a](#); [Liu Guodao and Chakraborty 2005](#); [Yi Kexian et al. 2007](#)). It is particularly noteworthy that 40 years after the introduction of CIAT 184, its field resistance to anthracnose seems to have remained unchanged. This suggests an inherent tolerance to the prevailing anthracnose strains, in contrast with most of the Australian *S. guianensis* cultivars ('Endeavour', 'Schofield' and 'Cook'), which succumbed to the disease a few years after their introduction in China.

Released as cultivar 'Reyan No. 2' in 1991, CIAT 184 developed into being the most widespread *Stylosanthes* cultivar in southern China. 'Reyan No. 2' is used for forage for livestock (cut-and-carry and grazing, hay and silage), leaf meal production (for ruminants and monogastrics), soil cover and green manure in perennial crops (rubber, coconut and fruit tree plantations), and soil stabilization and reclamation.

[Yi Kexian et al. \(2007\)](#) reported DM yields of 15–22.5 t/ha and total area planted to cultivar 'Reyan No. 2' of more than 150,000 ha at that time in South and Southwest China (provinces Hainan, Guangdong, Guangxi, Fujian, Guizhou, Sichuan and Yunnan), generating an income of 400–1,200 million Yuan (50–150 million USD). Our current estimate (June 2022) for the cumulative area sown to 'Reyan No. 2' and 'Reyan No. 5' (the latter a selection from 'Reyan No. 2') in (sub)tropical China is about 330,000 ha.

Genetic diversity and new cultivars. A Sequence-related amplified polymorphism (SRAP)-based analysis with 148 accessions representing 6 *Stylosanthes* species

showed that CIAT 184 and all derived cultivars clustered into 1 subgroup ([Huang Chunqiong et al. 2017](#)). CIAT 184 is the origin of a further 3 *S. guianensis* cultivars developed at Tropical Crops Genetic Resources Institute (TCGRI) of CATAS and tested in multilocational trials throughout southern China. Cultivar 'Reyan No. 5' (released in 1999) is an earlier-flowering, black-seeded selection from CIAT 184, with similar DM production to 'Reyan No. 2', but almost 50 % higher seed yields and improved cold tolerance ([Bai Changjun et al. 2004a](#)). More recently, 'Reyan No. 20' (2010) and 'Reyan No. 21' (2011) were both developed from 'Reyan No. 2' via space flight-induced mutation breeding ([Liu Guodao et al. 2004a](#)). Another cultivar derived from CIAT 184 is 'Stylo 907', developed in Guanxi by ^{60}Co - γ -radiation breeding ([Liu Guodao et al. 2004a](#)). Using the same radiation breeding technique, Tan Jiali et al. ([2009](#)) produced dwarf-mutant lines of CIAT 184 with improved cold tolerance.

Cold tolerance, higher seed production and durable anthracnose resistance are breeding and selection objectives for new germplasm, alongside improved yield and forage quality. Bai Changjun et al. ([2004a](#)) reported ongoing evaluations of new material in this regard, but at that time, CIAT 184 (cultivars 'Reyan No. 2' and 'Reyan No. 5') was still the first option. Eighteen years later the situation continues the same, in spite of a report of anthracnose on 'Reyan No. 2' in Hainan in 2014 ([Jia Yanxing et al. 2017](#)) and insufficient winter survival, in comparison with the grasses tested, reported for 'Reyan No. 5' (and a multiline *S. guianensis* hybrid cultivar, 'Ubon stylo') in Guangxi ([He Chengxin et al. 2017](#)).

Seed production and plant propagation. Details of establishment of a Stylo 184 crop for seed production, its management, seed harvesting and subsequent processing were presented by Liu Guodao et al. ([1997](#)); yields reported were in the range of 75–520 kg seed/ha. Yuan Xuejun et al. ([2011](#)) successfully developed a micropropagation method for 'Reyan No. 2'.

Forage. Stylo leaf meal has become an important commercial commodity in southern China ([Liu Guodao et al. 2004b](#)) and there are detailed recommendations for the proportion of the legume in rations for different livestock species ([Bai Changjun et al. 2004b](#)). Yi Kexian et al. ([2007](#)) presented amino acid concentrations in Stylo 184, which for most amino acids were higher than those in alfalfa. Li Mao et al. ([2014](#)) showed that 'Reyan No. 2', along with another CATAS germplasm (TPRC-90028), had the highest relative feed value among 10 *S. guianensis* accessions.

A number of studies dealt with issues related to making silage from *S. guianensis*, in all cases using cultivar ‘Reyan No. 2’. Liu Qinhu et al. (2011) assessed the effects of wilting and storage temperature on silage quality and aerobic stability and Liu Qinhu et al. (2012) tested the effectiveness of 2 LAB strains and concluded that stylo was hard to ensile due to low water-soluble carbohydrates (WSC) concentration and high buffering capacity. Li Dongxia et al. (2019) identified *Lactobacillus* and *Enterobacter* as the genera most probably responsible for the enhanced acetate fermentation in low-DM stylo. Li Mao et al. (2017; 2021) showed that silage fermentation and ruminal degradation could be enhanced by combining LAB inoculation and treatment with cellulase enzyme and by adding melatonin, respectively. Zhang Yage et al. (2018) assessed the best legume proportion in mixtures of stylo with king grass (*Cenchrus* hybrid); He Liwen et al. (2019; 2020) reported on the potential of gallic acid and *Moringa oleifera* leaves, respectively, to improve fermentation of stylo silage and Zi Xuejuan et al. (2022) showed the effects of WSC on the bacterial community.

Non-forage uses. Yi Kexian et al. (2007), citing publications in Chinese, reported on improved soil characteristics after 2 years of stylo cropping and enhanced orange tree growth after 2 years, when stylo was applied as green manure. Long Huying et al. (2017), working on degraded soils in the dry-hot valley area of Yuanmou country (almost 26° N), Yunnan province, showed that ‘Reyan No. 2’ as soil cover and green manure significantly improved soil fertility and micobiological activity.

Wang Dongmei et al. (2008) found that transgenic ‘Reyan No. 2’ has potential as a plant-based vaccine against foot-and-mouth disease.

Basic research. Studies on *S. guianensis* conducted in China, including CIAT 184 as a prominent example, addressed: development of molecular markers for diversity analysis (Ding Xipeng et al. 2015), genetic transformation (Guo Pengfei et al. 2019; Wang Linjie et al. 2023), molecular and gene expression mechanisms involved in abiotic and biotic stress tolerances [chilling, drought and salt (Zhou Biyan et al. 2005a, 2005b, 2006; Yang Jinfen and Guo Zhenfei 2007; Zhou Biyan and Guo Zhenfei 2009; Lu Shaoyun et al. 2013; Bao Gegen et al. 2016; Li Kailong et al. 2018)], nutrients (Du Yumei et al. 2009; Jiang Caode et al. 2018; Liu Pandao et al.

2019; Chen Zhijian et al. 2021; Song Jianling et al. 2022) and anthracnose (Wang Hui et al. 2017; Gao Mengze et al. 2021; Jiang Lingyan et al. 2021)].

Characteristics of CIAT 184: Positive attributes and shortcomings

There are a considerable number of positive attributes (strengths) that characterize CIAT 184, and several weaknesses:

Strengths

- Tolerance of anthracnose
- Broad environmental adaptation, including to subtropical conditions
- High productivity (up to 22.5 t DM/ha/yr) (Figure 2)
- Adaptation to acid, infertile soils with high levels of Al
- Low P demand, but responsive to P fertilizer application
- N-fixing capability and rhizobium promiscuity
- Ease of establishment
- Tolerance of drought
- High crude protein concentration
- Absence of antinutritive factors
- Suitability for grazing and cut-and-carry (Figure 3)
- Suitability for ruminants and some monogastrics (Figure 4)
- Suitability for hay making and subsequent leaf meal/pellet production, and ensiling (Figure 5)
- Suitability for intercropping (Figure 6)
- Multi-use potential: feed, soil cover (weed and erosion control), soil improvement (green manure) (Figures 7 and 8)

While most of these attributes are also valid for many other *S. guianensis* genotypes, the outstanding feature of CIAT 184 is its high tolerance of anthracnose in tropical Africa, SE Asia, southern China, some subtropical regions of Latin America (Argentina, Cuba) and the humid tropics of Latin America. As indicated by Chakraborty (2004b), this appears to be related to the physiological races of the fungus prevailing outside the center of diversity of *S. guianensis*, which is the New World tropics. We are unaware of any report that the field resistance of CIAT 184, which in China has lasted since its introduction in 1982, has broken down to a major extent at any location.

In Table 1, an account of the releases of cultivars derived from CIAT 184 is presented.



Figure 2. *Stylo* CIAT 184. **A:** mature stand at Pucallpa, Peru, Sep 1983; **B:** vigorous growth at Manakara, Madagascar, Mar 2007. (Photograph A by Rainer Schultze-Kraft, CIAT; B by Olivier Husson, CIRAD).



Figure 3. *Stylo* CIAT 184. **A:** grazing of a protein bank by dairy cattle at Pinar del Río, Cuba, Sep 2005 (Photograph by Rolando Núñez, Galeca); **B:** intensively cut plots at Luang Prabang, Laos, Sep 2001; **C:** in a mixture with grass for cattle feeding at Kampong Cham, Cambodia, Feb 2009. (Photographs B and C by Werner Stür, CIAT).



Figure 4. *Stylo CIAT 184*. **A:** goats grazing ‘Reyan No. 2’ in Hainan, China (Photograph provided by TCGRI-CATAS); **B:** feeding pigs at Luang Prabang, Laos, Dec 2002 (Photograph by Werner Stür, CIAT).



Figure 5. *Stylo CIAT 184* (‘Reyan No. 2’) in China. **A:** cutting for hay production in Guanxi; **B:** hay production for leaf meal in Hainan; **C:** leaf meal powder; **D:** pellets. (Photographs provided by TCGRI-CATAS).



Figure 6. CIAT 184 intercropped with other species. **A:** cassava; **B:** upland rice at Lac Alaotra, Madagascar, Apr 2007. (Photographs by Olivier Husson, CIRAD).

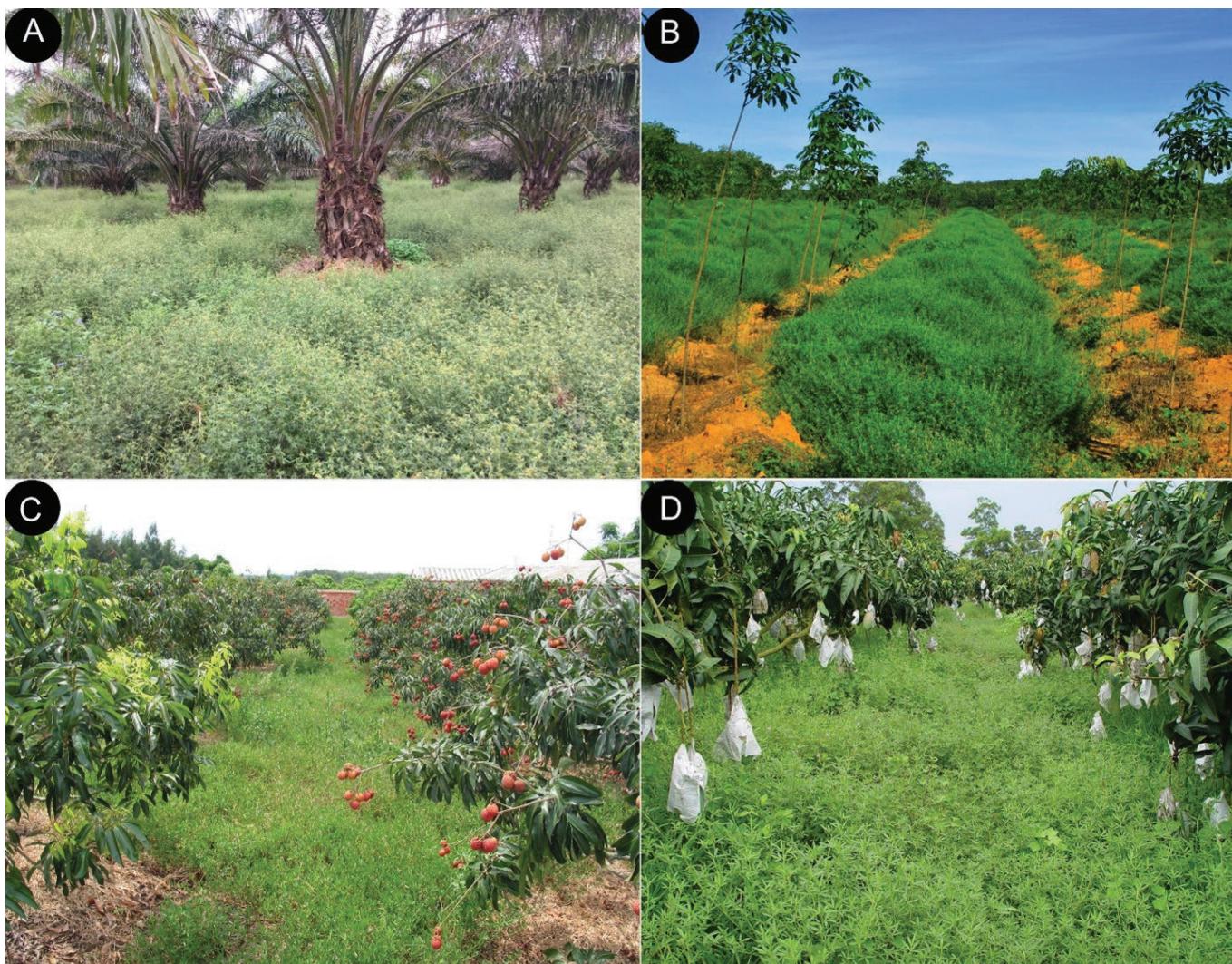


Figure 7. CIAT 184 as live soil cover in tree plantations in Hainan, China. **A:** oil palm; **B:** young rubber; **C:** litchi; **D:** mango. (Photograph A by Rainer Schultze-Kraft, CIAT; B, C and D provided by TCGRI-CATAS).

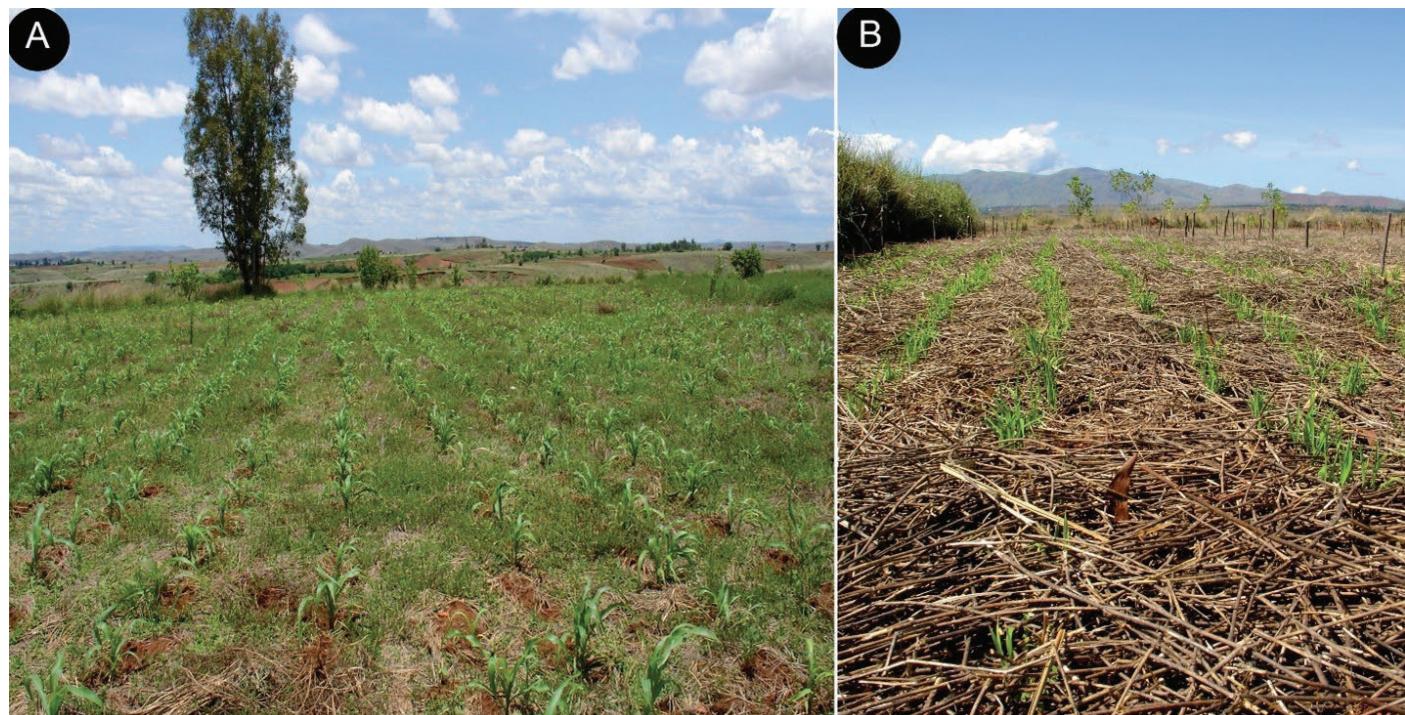


Figure 8. Stylo CIAT 184. A: live mulch; B: dead mulch. Used for establishment of maize and upland rice, respectively, in conservation agriculture, middle-west Madagascar, Dec 2008. (Photographs by Olivier Husson, CIRAD).

Table 1. Releases of cultivars derived from *S. guianensis* CIAT 184.

Country	Cultivar name	Year
Peru	'Pucallpa'	1985
Nigeria	'ILRI-164'	2000
Thailand	'Ta Phra'	1997
Southeast Asia	'Stylo 184' ¹	mid 1990s
China	'Reyan No. 2'	1991
	'907'	1996
	'Reyan No. 5'	2000
	'Reyan No. 20'	2010
	'Reyan No. 21'	2011

¹No formal release (except for Thailand).

Weaknesses

Insufficient persistence beyond 2–3 years under grazing or cutting is the major shortcoming of CIAT 184 and of *S. guianensis* in general ([Cook et al. 2020](#)). This is the most frequently mentioned technical factor responsible for constraining more widespread use of the accession. In this context it has to be pointed out that 'persistence' is the result of a number of inherent plant characteristics, ranging from the location of growing points on the plant to the concentration of palatability-affecting compounds in the forage, as well as utilization

management. Low seed production potential and lack of ease of seed production are also mentioned as shortcomings, in comparison with other *Stylosanthes* germplasm, particularly *S. hamata* ('Verano').

Adoption of and perspectives for CIAT 184

We do not intend to engage in a discussion about the (lack of) adoption of new tropical forage technologies in general nor of forage legume technologies in particular. This has been most ably handled in a number of publications by others including Stür et al. ([2000b](#)) for tropical forages in general, and Shelton et al. ([2005](#)) for forage legumes. Rather, as a conclusion of this review, we offer a few thoughts of technical rather than socioeconomic nature around actual adoption of CIAT 184 and possible future developments. There is no doubt that some of them are also applicable to other tropical legume species and genotypes that have shown promise in R&D projects.

Lack of data

There is a lack of data on the actual use of CIAT 184 to assess the extent of its adoption and impact. Information is required about both the area planted to the legume and the number of adopters. In this context it is regrettable

that most R&D projects make no provision for resources and institutional commitments regarding follow-up assessments of technology impacts, in the years after project termination. We consider that ILRI's ex-post economic impact assessment of the fodder bank project in West Africa ([Elbasha et al. 1999](#)) is an example to be followed. Moreover, such assessments should be complemented with the identification and analysis of eventual constraints to adoption and, at the socioeconomic level, impacts on the livelihood of adopters' households.

Regional adoption

Tropical America. Traditionally, neither small- nor large-scale farmers have been accustomed to sowing forages and assuring their proper management in general, less so regarding legumes. In many cases livestock producers are still more animal-oriented ranchers than agriculturalists dealing with pasture plant production. Taking into account that appropriate grazing management for legume persistence is a major issue for pastures in the humid tropics, where CIAT 184 has shown to have potential in tropical America, it could be questioned whether CIAT 184 has any role in current production systems. Miles and Lascano ([1997](#)) found that there had been no major adoption in the humid tropics of Latin America, but this might change depending on evolving land use policies and production systems as well as economic pressures, such as the need to replace commercial concentrates.

Tropical Africa. As can be deduced from the above-mentioned impact study of fodder bank technology ([Elbasha et al. 1999](#)), there is potential for adoption of CIAT 184 in West Africa. Unfortunately, the accession was not available when the fodder bank research by ILRI and its partners started in the early 1980s. It is regrettable that the RABAOC project was discontinued without considering follow-up activities based on the multisite identification of promising germplasm, CIAT 184 being consistently one of the top-ranking herbaceous legumes.

In tropical Africa, there are 2 different production environments for future use of CIAT 184: in West Africa, where there is a continuing trend for transhumant livestock keepers to become sedentary crop-livestock producers; and in East Africa, where Napier grass dominates planted forages for livestock nutrition.

Southeast Asia. It appears that CIAT 184 has found its niche in this region. However, long-term adoption has

been limited. We suggest the initial successes were due to the prevailing smallholder production systems operating under the pressure of very limited land resources, in combination with the long-term involvement of what Shelton et al. ([2005](#)) called 'champions', and intensive interaction between researchers and farmers (farmer participatory research). Stylo 184 has been successful where R&D projects arranged seed supply but, once projects were completed, the areas of stylo started to decline over time. A recent ACIAR study evaluating critical factors that promote or impede demand-driven uptake of forages in Cambodia, Lao PDR and Vietnam identified poor access to forage seeds as a major factor that impedes uptake of forages in the region ([Yadav et al. 2022](#)). This is particularly important for short-lived or weakly perennial forage legumes like Stylo 184 that require some regular replanting in cut-and-carry systems.

China. No doubt the sustained use of CIAT 184 in southern China is due to the outstanding long-term performance of this germplasm and to strong institutional interest and promotion. Adoption has been on both smallholder farms (where the innovative use as leaf meal originated) and in larger holdings, at private as well as state level. However, continuing use of the accession appears to be increasingly influenced by limited availability of seed produced at reasonably low cost, particularly in terms of labor. In this context, lack of machinery suitable for harvesting both seed and forage in hilly areas is seen as a specific limitation to its promotion.

Access to seed

The experience from R&D projects across the tropics has shown that availability of and access to seed constrain the use of CIAT 184, in spite of the technical strengths of this legume. Most likely this impediment to wider adoption also holds for other legumes. It is an issue that was recognized decades ago ([Ferguson and Sauma 1993](#)) and we suggest that it requires particular attention by tropical forage R&D policy makers. No doubt, because of eventual seed market implications, regional differences regarding production systems (e.g. smallholders vs. large estates) need to be taken into account. Model examples in tropical America and Southeast Asia are of seed being produced by smallholders in Bolivia and Thailand, respectively, and subsequently commercialized by seed trading companies ([Sauma and Pizarro 2007](#); [Hare 2014](#)).

Future perspectives

We see increased opportunities for CIAT 184 (and other *Stylosanthes* species and ecotypes), when:

- R&D resumes a major interest in developing low-input pasture and forage technologies for infertile soils;
- Farmers perceive that soil loss and declining soil fertility are becoming increasing constraints to agricultural production;
- The economic environment favors the replacement, or complementation, of synthetic nitrogen fertilizer with the usage of nitrogen-fixing legumes;
- There is a major recognition and promotion of the multipurpose potential of forage legumes ([Schultze-Kraft and Peters 1997](#)). In this context, CIAT 184 in China is an interesting example: A legume, originally selected for extensive South American pastures grazed by cattle, resulted in being used mainly as a soil cover crop and for the production of concentrate to feed pigs and poultry. This points, again, to regional and production system differences regarding the potential role of *S. guianensis*. The versatility of CIAT 184 suggests that R&D should consider its use for both forage for livestock production (cut-and-carry systems, grazed pastures) and a cover crop to regenerate soil fertility and suppress weeds;
- The use for industrial production of leaf meal has become an economic option outside China. In this context, there are promising developments in Madagascar (see above) and in Costa Rica [where ‘Legumix’ *Stylosanthes* pellets are promoted ([Sylvester-Bradley 2019](#))]. The potential socioeconomic impacts of the technology are to be stressed since importing of costly concentrates is reduced or replaced and rural employment is generated;
- Integrated production systems involving livestock, crops and/or trees (agropastoral, silvopastoral and agrosilvopastoral systems) continue to develop as sustainable land use options. In such systems, a legume like CIAT 184 should have particular potential (livestock feed and soil cover);
- Legume-based conservation agriculture practices expansion (e.g. Madagascar; [Husson et al. 2013](#));
- There is a major recognition and a quantification of the environmental services provided by forage legumes, which could eventually lead to payment for ecosystem services ([Schultze-Kraft et al. 2018](#)) and thus result in major adoption incentives.

Research suggestions

In terms of future research on CIAT 184, we suggest the following:

Adoption: Region-specific identification of constraints to major adoption in future R&D activities.

Anthracnose: In spite of the continuing field resistance of CIAT 184, breeding towards a broader and durable genetic resistance, owing to the potential danger of new physiological races of the fungus appearing. This includes the strategy of developing new cultivars derived from CIAT 184, which will have to be compared with more recent composite hybrid cultivars such as ‘Nina’, ‘Ubon’ and ‘BRS Bela’ ([Grof et al. 2001](#); [Cook et al. 2020](#)).

Forage quality: To optimize use of CIAT 184 for leaf meal/pellet production, breeding for higher nutritive value (improved leaf:stem ratio, lower fiber concentration).

Seed production: Breeding for increased seed yields, while maintaining herbage production.

Rhizobiology: Taking into account (1) that symbiotic nitrogen fixation is among the economically most important attributes of tropical forage legumes, and (2) that seed inoculation with improved *Rhizobium* strains may well have a place in intensified production systems, screening and selecting more effective and competitive *Rhizobium* strains for CIAT 184.

Environmental adaptation: Breeding for better adaptation to low temperatures and flooding to extend the environmental conditions where CIAT 184 can be grown successfully.

Climate change (CC) implications: Breeding for better adaptation to and mitigation of CC ([Schultze-Kraft et al. 2018](#)), not only in the case of CIAT 184 but for tropical forage legumes in general. This would include selecting/breeding for tolerance of flooding, soil salinity, drought and temperature extremes. Suggested research areas for CC mitigation are contribution to carbon accumulation in soil, biological nitrification inhibition and reduction of enteric methane emission.

Acknowledgments

We are grateful to Drs Carlos E. Lascano, Werner W. Stür and Bruce G. Cook for providing valuable comments on an earlier draft of this paper. This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (31861143013).

References

- (Note of the editors: All hyperlinks were verified 10 May 2023).
- Amézquita MC; Toledo JM; Keller-Grein G. 1991. Agronomic performance of *Stylosanthes guianensis* cv. Pucallpa in the American tropical rain forest ecosystem. Tropical Grasslands 25:262–267. [bit.ly/42dqCkQ](https://doi.org/10.1080/00411349109429314377)
- Audru J. 1971. *Stylosanthes gracilis*. Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (IEMVT), Maisons-Alfort, France. 199 p.
- Ba NX; Van NH; Scandrett J; Vy LV; Tung HV; Nghi NT; Tuan D; Lane P; Parsons D. 2014. Improved forage varieties for smallholder cattle farmers in South Central Coastal Vietnam. Livestock Research for Rural Development 26(9):158. [bit.ly/3nFpFmx](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Bai Changjun; Liu Guodao; Wang Dongjin. 2004a. Selecting high-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* in Hainan. In: Chakraborty S, ed. High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph 111, Canberra, ACT, Australia. p. 143–151. [bit.ly/3NBDHAI](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Bai Changjun; Liu Guodao; Wang Dongjin; Daida Krishna; Qudratullah S; Prasad VLK; Rama Rao SV; Parthasarthy Rao P; Ramesh CR; Balagopal R; Gopalan A. 2004b. *Stylosanthes* leaf meal for animal industries in China and India. In: Chakraborty S, ed. High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph 111, Canberra, ACT, Australia. p. 243–252. [bit.ly/3AOzWzV](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Bao Gegen; Zhuo Chunliu; Qian Chunmei; Xiao Ting; Guo Zhenfei; Lu Shaoyun. 2016. Co-expression of NCED and ALO improves vitamin C level and tolerance to drought and chilling in transgenic tobacco and stylo plants. Plant Biotechnology Journal 14(1):206–214. doi: [10.1111/pbi.12374](https://doi.org/10.1111/pbi.12374)
- Becker M; Johnson DE. 1998. The role of legume fallows in intensified upland rice-based systems of West Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems 53:71–81. doi: [10.1023/A:1009767530024](https://doi.org/10.1023/A:1009767530024)
- Bulakali BP; Aloni J; Palata JC; Mergeai G. 2013. Performance assessment of the production of seeds by manual sieving of the soil of three varieties of *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz under the conditions of the Batéké Plateau (DRC). Tropicultura 31(4):253–259. (In French). [bit.ly/3M3obvQ](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Bureenok S; Sisaath K; Yuangklang C; Vasupen K; Schonewille J.Th. 2016. Ensiling characteristics of silages of Stylo legume (*Stylosanthes guianensis*), Guinea grass (*Panicum maximum*) and their mixture, treated with fermented juice of lactic bacteria, and feed intake and digestibility in goats of rations based on these silages. Small Ruminant Research 134:84–89. doi: [10.1016/j.smallrumres.2015.12.006](https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.006)
- Burt RL; Miller CP. 1975. *Stylosanthes* – a source of pasture legumes. Tropical Grasslands 9:117–123. [bit.ly/3p8KWFn](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Burt RL; Rotar PP; Walker JL; Silvey MW, eds. 1983. The role of *Centrosema*, *Desmodium*, and *Stylosanthes* in improving tropical pastures. Westview Press, Boulder, CO, USA. 292 p. doi: [10.1201/9780429314377](https://doi.org/10.1201/9780429314377)
- Bush RD; Young JR; Suon S; Ngim MS; Windsor PA. 2014. Forage growing as an incentive to improve smallholder beef production in Cambodia. Animal Production Science 54(10):1620–1624. doi: [10.1071/AN14136](https://doi.org/10.1071/AN14136)
- Cameron AG; Gibson TA; Ibrahim; Winarno H; Hariadi A; Supriyadi. 1995. Performance of forages introduced into Kalimantan, Indonesia, by the South-East Asian Forage Seeds Project. CSIRO Genetic Resources Communication 21:1–38. [bit.ly/414cjOa](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Chakraborty S, ed. 2004a. High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph 111, Canberra, ACT, Australia. 268 p. [bit.ly/3VqKIWx](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Chakraborty S. 2004b. Anthracnose disease of *Stylosanthes*. In: Chakraborty S, ed. High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph 111, Canberra, ACT, Australia. p. 113–124. [bit.ly/3LskApz](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Chen CP; Aminah A; Khairuddin G. 1995. Forage Seeds Project in Malaysia: Activities, results and conclusions. In: Stür WW; Cameron AG; Hacker JB, eds. Forages for smallholders. Proceedings of the third meeting of the Southeast Asian Regional Forage Seeds Project, Samarinda, Indonesia, 23–28 October 1994. CIAT Working Document No. 143, 1995. CIAT, Cali, Colombia. p. 20–32. [bit.ly/3APdpD5](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Chen Zhijian; Song Jianling; Li Xinyong; Arango J; Cardoso JA; Rao I; Schultze-Kraft R; Peters M; Mo Xiaohui; Liu Guodao. 2021. Physiological responses and transcriptomic changes reveal the mechanisms underlying adaptation of *Stylosanthes guianensis* to phosphorus deficiency. BMC Plant Biology 21:466. doi: [10.1186/s12870-021-03249-2](https://doi.org/10.1186/s12870-021-03249-2)
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1975–1977. Annual Reports 1975–1977, Beef Production Program. CIAT, Cali, Colombia.
- Ciotti EM; Castelán ME; Tomei CE; Mónaco IP; Benítez JF. 2003. Respuesta de *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 a la fertilización con una baja dosis de fósforo. Revista de Investigación Agropecuaria 32(2):137–148. [bit.ly/410khrJ](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Ciotti EM; Tomei CE; Castelán ME. 1999. Research Note: The adaptation and production of some *Stylosanthes* species in Corrientes, Argentina. Tropical Grasslands 33:165–169. [bit.ly/44ulgnc](https://doi.org/10.1080/0971216X.2014.913000)
- Cook BG; Pengelly BC; Schultze-Kraft R; Taylor M; Burkart S; Cardoso Arango JA; González Guzmán JJ; Cox K; Jones C; Peters M. 2020. Tropical Forages: An interactive selection tool. 2nd and Revised Edn. International

- Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia and International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. www.tropicalforages.info
- Costa NMS. 2006. Revisão do género *Stylosanthes* Sw. Ph.D. Thesis. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. 470 p.
- de Leeuw PN; Mohamed-Saleem MA; Nyamu AM, eds. 1994. *Stylosanthes* as a forage and fallow crop. Proceedings of the Regional Workshop on the Use of *Stylosanthes* in West Africa held in Kaduna, Nigeria, 26–31 October 1992. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia. 340 p. [handle.net/10568/2720](https://hdl.handle.net/10568/2720)
- Ding Xipeng; Jia Qinglin; Luo Xiaoyan; Zhang Long; Cong Hanqing; Liu Guodao; Bai Changjun. 2015. Development and characterization of expressed sequence tag-derived simple sequence repeat markers in tropical forage legume *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. Molecular Breeding 35:202. doi: [10.1007/s11032-015-0370-x](https://doi.org/10.1007/s11032-015-0370-x)
- Du Yumei; Tian Jiang; Liao Hong; Bai Chanjun; Yan Xiaolong; Liu Guodao. 2009. Aluminium tolerance and high phosphorus efficiency helps *Stylosanthes* better adapt to low-P acid soils. Annals of Botany 103(8):1239–1247. doi: [10.1093/aob/mcp074](https://doi.org/10.1093/aob/mcp074)
- Elbasha E; Thornton PK; Tarawali G. 1999. An ex post economic impact assessment of planted forages in West Africa. ILRI Impact Assessment Series 2. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. 61 p. hdl.handle.net/10568/502
- Enoh MB; Yonkeu S; Pingpoh DP; Messine O; Maadjou N. 1999. Yield and composition of fodder banks on the Adamawa plateau of Cameroon. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux 52(1):55–62. doi: [10.19182/remvt.9702](https://doi.org/10.19182/remvt.9702)
- Ferguson JE; Sauma G. 1993. Towards more forage seeds for smallholders in Latin America. In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress, 8–21 February 1993, New Zealand and Australia. 2:1751–1756. [bit.ly/44RsjpQ](https://hdl.handle.net/10568/44RsjpQ)
- Fuentes L; Domínguez A; Pérez Y; Mesa A; González S; Acebes JL; García-Angulo P. 2015. Monitoring of cell wall modifications during callogenesis in *Stylosanthes guianensis* (Fabaceae) under salt stress conditions. Brazilian Journal of Botany 38:783–793. doi: [10.1007/s40415-015-0196-0](https://doi.org/10.1007/s40415-015-0196-0)
- Fuentes L; Mesa A; García P; Fernández M; Sosa D; Llorente A. 2000. Amplificación del marcador molecular Rrn5 en ADN extraído de callos de *Stylosanthes guianensis* cv. CIAT-184. Pastos y Forrajes 23(1):25–31. [bit.ly/44xyO0X](https://hdl.handle.net/10568/44xyO0X)
- Fuentes L; Pérez Y; Domínguez A; Mesa AR; González S. 2008. Influences of the NaCl in biochemical indicators evaluated in callus of *Stylosanthes guianensis* CIAT-184. Pastos y Forrajes 31(1):35–46. [bit.ly/419gus6](https://hdl.handle.net/10568/419gus6)
- Fuentes Alfonso L; Pérez Hernández Y; Domínguez Suárez A; Mesa Sardiñas A; González Suárez S. 2008. Evaluation of the anti-rust enzymatic activity in *Stylosanthes guianensis* cv. CIAT-184, during the organogenesis process under conditions of saline stress. Centro Agrícola 35(2):11–16. (In Spanish). [bit.ly/3NEllzH](https://hdl.handle.net/10568/3NEllzH)
- Gao Mengze; Wan Miting; Yang Liyun; Zhao Meng; Liu Xiaojin; Chen Jiajia; Liu Pandao; Jiang Lingyan; Luo Lijuan. 2021. Molecular and physiological characterization of *Arabidopsis-Colletotrichum gloeosporioides* pathosystem. Plant Pathology 70(5):1168–1179. doi: [10.1111/ppa.13364](https://doi.org/10.1111/ppa.13364)
- González LM; López RC; Fonseca I; Ramírez R. 2000. Crecimiento, frecuencia estomática, rendimiento de MS y acumulación de iones en nueve especies de leguminosas pratenses cultivadas en condiciones salinas. Pastos y Forrajes 23(4):299–308. [bit.ly/3HFshhz](https://hdl.handle.net/10568/3HFshhz)
- GRIN (Germplasm Resources Information Network). 2023. Species of *Stylosanthes* Sw. GRIN-Global Taxonomy. USDA, Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System, National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, MD, USA. [bit.ly/3NOMmPZ](https://hdl.handle.net/10568/3NOMmPZ)
- Grof B; Fernandes CD; Fernandes ATF. 2001. New *Stylosanthes guianensis* for tropical grasslands. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress, 11–21 February 2001, São Pedro, São Paulo, Brazil. p. 526–527. [bit.ly/3pbn4Bi](https://hdl.handle.net/10568/3pbn4Bi)
- Guo Pengfei; Liu Pandao; Lei Jian; Chen Caihong; Qiu Hong; Liu Guodao; Chen Zhijian; Luo Lijuan. 2019. Improvement of plant regeneration and *Agrobacterium*-mediated genetic transformation of *Stylosanthes guianensis*. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 7(5):480–492. doi: [10.17138/tgft\(7\)480-492](https://doi.org/10.17138/tgft(7)480-492)
- Gyue G; Hline NK; Aye NT; Hein B; Naung MT; Thura M; Myint H; Thein SM; Oo LN; Htun MT; Mu KS; Aung A. 2021. Evaluation on dry forage yields and nutritional characteristics of introduced herbaceous legumes in Myanmar. Journal of Scientific Agriculture 5:12–19. doi: [10.25081/jsa.2021.v5.6647](https://doi.org/10.25081/jsa.2021.v5.6647)
- Hare MD. 2014. Village-based tropical pasture seed production in Thailand and Laos – a success story. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 2(2):165–174. doi: [10.17138/tgft\(2\)165-174](https://doi.org/10.17138/tgft(2)165-174)
- Hare MD; Gruben IE; Tatsapong P; Lunpha A; Saengkham M; Wongpichet K. 2004. Inter-row planting of legumes to improve the crude protein concentration in *Paspalum atratum* cv. Ubon pastures in north-east Thailand. Tropical Grasslands 38:167–177. [bit.ly/3nrKBNR](https://hdl.handle.net/10568/3nrKBNR)
- Hare MD; Tatsapong P; Phengphet S; Lunpha A. 2007. *Stylosanthes* species in north-east Thailand: Dry matter yields and seed production. Tropical Grasslands 41:253–259. [bit.ly/425nesj](https://hdl.handle.net/10568/425nesj)
- He Chaozu; Schultze-Kraft R. 1988. Pi Hua Dou 184 (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184) – nueva leguminosa forrajera en China tropical. Pasturas Tropicales 10(1):34–35. [bit.ly/3ASQOoT](https://hdl.handle.net/10568/3ASQOoT)
- He Chengxin; Mo Ling; Huang Yuqing; Zhang Zhongfeng; Hare M; Zen Danjuan; Pu Gaozhong. 2017. Productivity and the survival rate after winter management of seven tropical forage accessions in subtropical region of

- China. Agricultural Sciences 8:451–464. doi: [10.4236/as.2017.85034](https://doi.org/10.4236/as.2017.85034)
- He Liwen; Chen Na; Lv Hongjian; Wang Cheng; Zhou Wei; Chen Xiaoyang; Zhang Qing. 2019. Gallic acid influencing fermentation quality, nitrogen distribution and bacterial community of high-moisture mulberry leaves and stylo silage. Bioresource Technology 295:122255. doi: [10.1016/j.biortech.2019.122255](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122255)
- He Liwen; Lv Hongjian; Xing Yaqi; Wang Cheng; You Xiangwei; Chen Xiaoyang; Zhang Qing. 2020. The nutrients in *Moringa oleifera* leaf contribute to the improvement of stylo and alfalfa silage: Fermentation, nutrition and bacterial community. Bioresource Technology 301:122733. doi: [10.1016/j.biortech.2020.122733](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122733)
- Homma K; Mochizuki A; Watatsu E; Horie T; Shiraiwa T; Supapoj N; Thongthai C. 2008. Relay-intercropping of *Stylosanthes guianensis* in rainfed lowland rice ecosystem in Northeast Thailand. Plant Production Science 11(3):385–392. doi: [10.1626/pps.11.385](https://doi.org/10.1626/pps.11.385)
- Horne PM; Stür WW; Gabunada Jr F; Phengsavan P. 1997. Prospects for introducing forages in Southeast Asia. In: Stür WW, ed. Feed resources for smallholder livestock production in Southeast Asia. Proceedings of a regional meeting held at Vientiane, Lao PDR, 16–20 January 1996. Forages for Smallholders Project, Technical Report No. 1. CIAT Working Document 156, 1997. CIAT, Cali, Colombia. p. 11–19. hdl.handle.net/10568/56455
- Huang Chunqiong; Liu Guodao; Bai Changjun. 2017. Polymorphism analysis in identification of genetic variation and relationships among *Stylosanthes* species. 3 Biotech 7(1):39. doi: [10.1007/s13205-017-0705-x](https://doi.org/10.1007/s13205-017-0705-x)
- Husson O; Charpentier H; Razanamparany C; Moussa N; Michellon R; Naudin K; Razafintsalama H; Rakotoarinivo C; Rakotondramanana; Seguy L. 2008. *Stylosanthes guianensis*. In: Husson O; Ségu L; Charpentier H; Rakotondramanana; Michellon R; Raharison T et al., eds. 2013. Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Application à Madagascar. Volume III, Chapter 2. GSDM/CIRAD, Antananarivo, Madagascar. 12 p. bit.ly/3LT4Zkk
- Husson O; Charpentier H; Michellon R; Moussa N; Razanamparany C; Naudin K; Raharison T; Rakotondramanana; Enjalric F; Seguy L. 2013. Systèmes de culture à base de *Stylosanthes guianensis*. In: Husson O; Ségu L; Charpentier H; Rakotondramanana; Michellon R; Raharison T et al., eds. 2013. Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Application à Madagascar. Volume V, Chapter 3. GSDM/CIRAD, Antananarivo, Madagascar. 24 p. bit.ly/3LT4Zkk
- Jia Yanxing; Yang Maoxia; Wang Hui; Luo Lijuan; Chen Zhijuan; Yu Daogeng; Bai Changjun. 2017. First report of anthracnose on *Stylosanthes guianensis* caused by *Colletotrichum karstii* in China. Plant Disease 101(4):630–631. doi: [10.1094/PDIS-06-16-0931-PDN](https://doi.org/10.1094/PDIS-06-16-0931-PDN)
- Jiang Caode; Liu Lusheng; Li Xiaofeng; Han Rongrong; Wei Yunmin; Yu Yongxiong. 2018. Insights into aluminum-tolerance pathways in *Stylosanthes* as revealed by RNA-Seq analysis. Scientific Reports 8:6072. doi: [10.1038/s41598-018-24536-3](https://doi.org/10.1038/s41598-018-24536-3)
- Jiang Lingyan; Wu Pengpeng; Yang Liyun; Liu Chun; Guo Pengfei; Wang Hui; Wang Shaocai; Xu Fupeng; Zhuang Qiwang; Tong Xinzhuo; Liu Pandao; Luo Lijuan. 2021. Transcriptomics and metabolomics reveal the induction of flavonoid biosynthesis pathway in the interaction of *Stylosanthes-Colletotrichum gloeosporioides*. Genomics 113(4):2702–2713. doi: [10.1016/j.genome.2021.06.004](https://doi.org/10.1016/j.genome.2021.06.004)
- Kachelriess S; Tarawali SA. 1994. The effects of row spacing and weed control on seed production of *Stylosanthes* in the subhumid zone of Nigeria. In: de Leeuw PN; Mohamed-Saleem MA; Nyamu AM, eds. *Stylosanthes* as a forage and fallow crop. Proceedings of the Regional Workshop on the Use of *Stylosanthes* in West Africa held in Kaduna, Nigeria, 26–31 October 1992. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia. p. 287–297. [handle.net/10568/2720](https://hdl.handle.net/10568/2720)
- Kaensombath L; Frankow-Lindberg BE. 2012. Effect of defoliation interval on biomass yield and chemical composition of stylo 'CIAT 184' (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. var. *guianensis*). Grassland Science 58(4):221–226. doi: [10.1111/grs.12004](https://doi.org/10.1111/grs.12004)
- Kaensombath L; Lindberg JE. 2013. Effect of additives on ensiling of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) leaves and Stylo CIAT 184 (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. var. *guianensis*) forage. Livestock Research for Rural Development 25(4):69. bit.ly/41gwEjm
- Kaensombath L; Neil M; Lindberg JE. 2013. Effect of replacing soybean protein with protein from ensiled stylo (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. var. *guianensis*) on growth performance, carcass traits and organ weights of exotic (Landrace × Yorkshire) and native (Moo Lath) Lao pigs. Tropical Animal Health and Production 45:865–871. doi: [10.1007/s11250-012-0299-6](https://doi.org/10.1007/s11250-012-0299-6)
- Kelemu S; Jiang Changshun; Huang Guixiu; Segura G. 2005. Genetic transformation of the tropical forage legume *Stylosanthes guianensis* with a rice-chitinase gene confers resistance to *Rhizoctonia* foliar blight disease. African Journal of Biotechnology 4:1025–1033. hdl.handle.net/10568/42904
- Keller-Grein G, ed. 1990. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales RIEPT-Amazonia, I Reunión, 6–9 Noviembre de 1990, Lima, Perú. Documento de Trabajo No. 75, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. Vol 1, 119 p. bit.ly/3HENwye
- Keller-Grein G; Amézquita MC; Lema G; Franco LH. 1992. Multilocal testing of grasses and legumes in the humid tropics of South America. CIAT Report. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 9 p. hdl.handle.net/10568/72179
- Keoboualapheth C; Mikled C. 2003. Growth performance of indigenous pigs fed with *Stylosanthes guianensis* CIAT

- 184 as replacement for rice bran. *Livestock Research for Rural Development* 15(9):63. bit.ly/3ptUew6
- Keopaseuth T; Chhay Ty; Bouahom B; Preston TR. 2004. Effect of method of offering foliages of *Gliricida sepium* and *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 (Stylo) to goats on intake and digestibility. *Livestock Research for Rural Development* 16(5):31. bit.ly/42JmUPV
- Khanh TT; Ha NV. 2007. Successful forage development for smallholders in Daklak, Central Highlands, Vietnam: The contribution of forages to livestock development and livelihoods of upland farmers. In: Hare MD; Wongpichet K, eds. *Forages: A pathway to prosperity for smallholder farmers*. Proceedings of an International Forage Symposium, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Thailand. p. 270–284. ISBN: 9789745231412
- Khoutsavang B; Bouahom B; Ogle B. 2006. Effect of including fresh Stylo 184 and cassava foliage (*Manihot esculenta* Crantz), fed separately or in a mixture on digestibility, intake and N retention in growing pigs. *The Lao Journal of Agriculture and Forestry* Vol. January–June 2006:21–35. (In Lao). bit.ly/4la7mDE
- Kiyothong K; Satjipanon C; Namsilee R. 2005a. Effect of dates of closing cut on seed yield and seed quality of *Stylosanthes guianensis* CIAT 184. *Songkranakarin Journal of Science and Technology* 27(5):983–991. bit.ly/415gIR9
- Kiyothong K; Satjipanon C; Pholsen P. 2002. Effect of cutting height and time on seed yield and seed quality of *Stylosanthes guianensis* CIAT 184. *Songkranakarin Journal of Science and Technology* 24(4):587–593. bit.ly/44waAV6
- Kiyothong K; Satjipanon C; Pholsen P. 2005b. Effect of planting dates on seed yield and seed quality of *Stylosanthes guianensis* CIAT 184. *Songkranakarin Journal of Science and Technology* 27(6):1163–1169. bit.ly/44rYa0j
- Kiyothong K; Wanapat M. 2004a. Growth, hay yield and chemical composition of cassava and stylo 184 grown under intercropping. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 17(6):799–807. doi: 10.5713/ajas.2004.799
- Kiyothong K; Wanapat M. 2004b. Supplementation of cassava hay and stylo 184 hay to replace concentrate for lactating dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 17(5):670–677. doi: 10.5713/ajas.2004.670
- Kopinski JS; Keonouchanh S; Cox K; Stür W. 2008. Digestible energy value for pigs of the forage legume *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 (Stylo 184). Proceedings of the XIIith Asian-Australasian Association of Animal Production Societies (AAAP) Animal Science Congress 2008, Hanoi, Vietnam, September 22–26, 2008. Poster session. 4 p.
- Kouadio KS; Yapi YM; Kimse M; Alla KJB; Gidenne T; Wandan EN. 2022. Sun-dried stylo hay (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184) as dietary fibre source in rabbits. *Indian Journal of Animal Research*. doi: 10.18805/IJAR.BF-1501
- Kouadio KS; Yapi YM; Kimse M; Alla KJB; Sangare S; Gidenne T; Wandan EN. 2021. Effects of sun-dried stylo hay (*Stylosanthes guianensis* cv CIAT 184) on rabbits growth and slaughter performances. *Proceedings of the 12th World Rabbit Congress*, 3–5 November 2021, Nantes, France. hal.inrae.fr/hal-03649269
- Lanting EF; Gabunada F; Ofcemia G; Salamat S; Bugayong A; Marasigan C; Garcia N. 1995. Forage Seeds Project in the Philippines: Activities, results and conclusions. In: Stür WW; Cameron AG; Hacker JB, eds. 1995. *Forages for Smallholders*. Proceedings of the third meeting of the Southeast Asian Regional Forage Seeds Project, Samarinda, Indonesia, 23–28 October 1994. CIAT Working Document No. 143, 1995. CIAT, Cali, Colombia. p. 33–44. bit.ly/3APdpD5
- Lanting E; Sevilla C; Gabunada Jr F. 2003. Stylo 184 as a protein source in rice-straw-based rations for sheep. Poster paper. In: Stür WW; Horne PM; Hacker JB; Kerridge PC, eds. *Working with farmers: The key to adoption of forage technologies*. Proceedings of an International Workshop held in Cagayan de Oro City, Mindanao, Philippines, 12–15 October 1999. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Proceedings No. 95, Canberra, ACT, Australia. p. 149–151. bit.ly/3LWtZXS
- Lenné JM. 1985. Recent advances in the understanding of anthracnose of *Stylosanthes* in tropical America. *Proceedings of the XV International Grassland Congress*, 24–31 August 1985, Kyoto, Japan. p. 773–775.
- Li Dongxia; Ni Kuikui; Zhang Yingchao; Lin Yanli; Yang Fuyu. 2019. Fermentation characteristics, chemical composition and microbial community of tropical forage silage under different temperatures. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 32(5):665–674. doi: 10.5713/ajas.18.0085
- Li Kailong; Qiu Hong; Zhou Min; Lin Yang; Guo Zhenfei; Lu Shaoyun. 2018. Chloroplast protein 12 expression alters growth and chilling tolerance in tropical forage *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Sw. *Frontiers in Plant Science* 9:1319. doi: 10.3389/fpls.2018.01319
- Li Mao; Lv Renlong; Zhang Lidong; Zi Xuejuan; Zhou Hanlin; Tang Jun. 2021. Melatonin is a promising silage additive: Evidence from microbiota and metabolites. *Frontiers in Microbiology* 12:670764. doi: 10.3389/fmicb.2021.670764
- Li Mao; Zhou Hanlin; Zi Xuejuan; Cai Yimin. 2017. Silage fermentation and ruminal degradation of stylo prepared with lactic acid bacteria and cellulase. *Animal Science Journal* 88(10):1531–1537. doi: 10.1111/asj.12795
- Li Mao; Zi Xuejuan; Zhou Hanlin; Hou Guanyu; Cai Yimin. 2014. Short Report: Chemical composition and in vitro digestibility of *Stylosanthes guianensis* varieties. *Grassland Science* 60(2):125–129. doi: 10.1111/grs.12046
- Liu Guodao; Bai Changjun; Wang Dongjin; He Huaxuan. 2004a. *Stylosanthes* cultivars in China: Their development and performance. In: Chakraborty S, ed. *High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph 111, Canberra, ACT, Australia. p. 153–158. bit.ly/3NBDHAI

- Liu Guodao; Bai Changjun; Wang Dongjin; Ramesh CR; Parthasarthy Rao P. 2004b. Leaf meal production from *Stylosanthes* in China and India. In: Chakraborty S, ed. High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph 111, Canberra, ACT, Australia. p. 253–256. bit.ly/3AOzWzV
- Liu Guodao; Chakraborty S. 2005. Stylo in China: A tropical forage legume success story. Tropical Grasslands 39:215. bit.ly/3LWyjGs
- Liu Guodao; Kerridge PC. 1997. Selection and utilization of *Stylosanthes guianensis*, for green cover and feed meal production in China. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress, 8–19 June 1997, Winnipeg-Saskatoon, Canada. ID No. 1215. Vol. 2:19/49–19/50. hdl.handle.net/10568/55902
- Liu Guodao; Phaikaew C; Stür WW. 1997. Status of *Stylosanthes* development in other countries. II: *Stylosanthes* development and utilisation in China and south-east Asia. Tropical Grasslands 31:460–466. bit.ly/3NFuN4M
- Liu Pandao; Huang Rui; Hu Xuan; Jia Yidan; Li Jifu; Luo Jiajia; Liu Qin; Luo Lijuan; Liu Guodao; Chen Zhijian. 2019. Physiological responses and proteomic changes reveal insights into *Stylosanthes* response to manganese toxicity. BMC Plant Biology 19:212. doi: [10.1186/s12870-019-1822-y](https://doi.org/10.1186/s12870-019-1822-y)
- Liu Qinhua; Chen Mingxia; Zhang Jianguo; Shi Shangli; Cai Yimin. 2012. Characteristics of isolated lactic acid bacteria and their effectiveness to improve stylo (*Stylosanthes guianensis* Sw.) silage quality at various temperatures. Animal Science Journal 83(2):128–135. doi: [10.1111/j.1740-0929.2011.00937.x](https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2011.00937.x)
- Liu Qinhua; Zhang Jianguo; Shi Shangli; Sun Qizhong. 2011. The effects of wilting and storage temperatures on the fermentation quality and aerobic stability of stylo silage. Animal Science Journal 82(4):549–553. doi: [10.1111/j.1740-0929.2011.00873.x](https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2011.00873.x)
- Loker W; Vera R; Reátegui K. 1997. Pasture performance and sustainability in the Peruvian Amazon: Results of long-term on-farm research. Agricultural Systems 55(3):385–408. doi: [10.1016/S0308-521X\(96\)00102-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(96)00102-3)
- Long Huiying; Zhang De; He Guangxiong. 2017. The effects of planted and plowed *Stylosanthes guianensis* on degrading soil fertility in hilly countries of dry-hot valley. Acta Ecologica Sinica 37(5):279–283. doi: [10.1016/j.chnaes.2017.02.004](https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.02.004)
- Lu Shaoyun; Wang Xianghui; Guo Zhenfei. 2013. Differential responses to chilling in *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Sw. and its mutants. Agronomy Journal 105(2):377–382. doi: [10.2134/agronj2012.0333](https://doi.org/10.2134/agronj2012.0333)
- Mesa AR; Lajonchere G; Prieto M; Toral O. 1993. Organogénesis en *Stylosanthes guianensis* cv. CIAT 184. Pastos y Forrajes 16(3):207–210. bit.ly/42snw cq
- Miles JW; Lascano CE. 1997. Status of *Stylosanthes* development in other countries. I. *Stylosanthes* development and utilisation in South America. Tropical Grasslands 31:454–459. bit.ly/3NGR5mC
- Mohamed-Saleem MA; Suleiman H. 1986. Fodder banks: Dry season feed supplementation for traditionally managed cattle in the subhumid zone. World Animal Review 59:11–17. hdl.handle.net/10568/28631
- Muhr L; Tarawali SA; Peters M; Schultze-Kraft R. 1999a. Forage legumes for improved fallows in agropastoral systems of subhumid West Africa: I. Establishment, herbage yield and nutritive value of legumes as dry season forage. Tropical Grasslands 33:222–233. bit.ly/3HKmbpB
- Muhr L; Tarawali SA; Peters M; Schultze-Kraft R. 1999b. Forage legumes for improved fallows in agropastoral systems of subhumid West Africa: III. Nutrient import and export by forage legumes and their rotational effects on subsequent maize. Tropical Grasslands 33:245–256. bit.ly/3p9vZ66
- Muhr L; Tarawali SA; Peters M; Schultze-Kraft R. 2001. Acceptability of forage legumes for improved fallows – first experiences of agro-pastoralists in subhumid southwest Nigeria. Experimental Agriculture 37(4):495–507. doi: [10.1017/S0014479701000436](https://doi.org/10.1017/S0014479701000436)
- Na Chiangmai P; Pootaeng-on Y; Khewaram T. 2013. Evaluation of the shade tolerance of moth bean (*Vigna aconitifolia*) and two tropical legume species. Silpakorn University Science & Technology Journal 7(1):19–31. doi: [10.14456/sustj.2013.2](https://doi.org/10.14456/sustj.2013.2)
- NARS-CIRAD/EMVT-CIAT-ILCA. 1995. West and Central African Animal Feed Research Project. Results 1990–1994. 5th Annual Meeting, Lomé, Togo, 3–9 April 1995. CIAT Working Document No. 145. CIAT, Cali, Colombia. 258 p. hdl.handle.net/10568/56449
- Naudin K; Irantsoa Rasolofa L; Rakotomalala Andriamarosata J; Douzet J-M; Scopel E. 2012. Contrôle de l'émergence des adventices par le paillage en riziculture pluviale à Madagascar. 1ère Conférence Internationale: Systèmes de Production Rizicole Biologique, 27–30 August 2012, Montpellier, France. p. 116–117. bit.ly/3p9vWY5
- Naudin K; Scopel E; Andriamandroso ALH; Rakotosolofa M; Andriamarosoa Ratsimbazafy NRS; Rakotozandriny JN; Salgado P; Giller KE. 2011. Trade-offs between biomass use and soil cover. The case of rice-based cropping systems in the Lake Alaotra region of Madagascar. Experimental Agriculture 48(2):194–209. doi: [10.1017/S001447971100113X](https://doi.org/10.1017/S001447971100113X)
- Ng KF; Stür WW; Shelton HM. 1997. New forage species for integration of sheep in rubber plantations. The Journal of Agricultural Science 128(3):347–355. doi: [10.1017/S0021859696004248](https://doi.org/10.1017/S0021859696004248)
- Norachack B; Keonouchanh S; Chhay Ty; Bouahom B; Preston TR. 2004. *Stylosanthes* and cassava leaves as protein supplements to a basal diet of broken rice for local pigs. Livestock Research for Rural Development 16(10):74. bit.ly/3HOLJhj
- Nulik J; Dalgleish N; Cox K; Gabb S. 2013. Integrating herbaceous legumes into crop and livestock systems in

- eastern Indonesia. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph No. 154, Canberra, ACT, Australia. 130 p. bit.ly/3M5NXiY
- Pamo ET; Yonkeu S. 1994. Effect of *Stylosanthes guianensis* on the production and chemical composition of *Brachiaria ruziziensis* in Adamaoua (Cameroon). Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux 47(1):127–129. (In French). doi: [10.19182/remvt.9124](https://doi.org/10.19182/remvt.9124)
- Pardinez V; Cabacan C; Darang S; Pascua R. 2000. Pilot seed production studies of *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 in the Northern Philippines. Poster paper. In: Stür WW; Horne PM; Hacker JB; Kerridge PC, eds. Working with farmers: The key to adoption of forage technologies. Proceedings of an International Workshop held in Cagayan de Oro City, Mindanao, Philippines, 12–15 October 1999. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Proceedings No. 95, Canberra, ACT, Australia. p. 168–169. bit.ly/3LWtZXS
- Pen M; Savage DB; Nolan JV; Seng M. 2013. Effect of *Stylosanthes guianensis* supplementation on intake and nitrogen metabolism of *Bos indicus* cattle offered a basal diet of mixed rice straw and tropical grass. Animal Production Science 53(5):453–457. doi: [10.1071/AN11307](https://doi.org/10.1071/AN11307)
- Peters M; Tarawali SA; Alkämper J. 1994. Evaluation of tropical pasture legumes for fodder banks in subhumid Nigeria. 2. Accessions of *Aeschynomene histrix*, *Centrosema acutifolium*, *C. pascuorum*, *Stylosanthes guianensis* and *S. hamata*. Tropical Grasslands 28:74–79. bit.ly/42nID0P
- Peters M; Tarawali SA; Schultze-Kraft R. 2000. Relative palatability and seasonal agronomic performance of selected pasture legumes for species mixtures in dry-subhumid West Africa. Experimental Agriculture 36(3):353–368. doi: [10.1017/S0014479700003070](https://doi.org/10.1017/S0014479700003070)
- Peters M; Tarawali SA; Schultze-Kraft R; Smith JW; Musa A. 2001. Performance of legume mixtures under small-plot periodic grazing. Journal of Agronomy and Crop Science 182(1):25–35. doi: [10.1046/j.1439-037x.1999.00254.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.1999.00254.x)
- Phaikaew C; Hare MD. 2005. Stylo adoption in Thailand: Three decades of progress. Tropical Grasslands 39:216. bit.ly/3pcALjl
- Phaikaew C; Ramesh CR; Yi Kexian; Stür W. 2004. Utilisation of *Stylosanthes* as a forage crop in Asia. In: Chakraborty S, ed. High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph 111, Canberra, ACT, Australia. p. 65–76. bit.ly/3LskApz
- Phengsavanh P. 1999. Forage evaluation in the Lao PDR. The Lao Journal of Agriculture and Forestry 2:31–39. (In Lao).
- Phengsavanh P; Frankow-Lindberg BE. 2013. Effect of harvesting interval on biomass yield and nutritive value of five tropical forage legumes (*Aeschynomene histrix* BRA 9690, *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009, *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 and 'Composite' and *Vigna unguiculata* CIAT 1088-4) in Lao PDR. Grassland Science 59(2):80–86. doi: [10.1111/grs.12017](https://doi.org/10.1111/grs.12017)
- Phengsavanh P; Ledin I. 2003. Effect of Stylo 184 (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184) and Gamba grass (*Andropogon gayanus* cv. Kent) in diets for growing goats. Livestock Research for Rural Development 15(10):71. bit.ly/3Mh4von
- Phengsavanh P; Phimphachanhvongsod V. 2007. Forage development in Lao PDR: Emerging impacts from planted forages in the upland of Lao PDR. In: Hare MD; Wongpichet K, eds. Forages: A pathway to prosperity for smallholder farmers. Proceedings of an International Forage Symposium, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Thailand. p. 263–269. ISBN: 9789745231412
- Phengsavanh P; Stür W; Keonouchanh S. 2008. Adoption of the forage legume 'Stylo 184' (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184) in smallholder pig systems in Lao PDR. Proceedings of the XIIth Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies, 22–26 September 2008, Hanoi, Vietnam.
- Philp JNM; Vance W; Bell RW; Ty Chhay; Boyd D; Phimphachanhvongsod V; Denton MD. 2019. Forage options to sustainably intensify smallholder farming systems on tropical sandy soils. A review. Agronomy for Sustainable Development 39:30. doi: [10.1007/s13593-019-0576-0](https://doi.org/10.1007/s13593-019-0576-0)
- Phimmasan H; Kongvongxay S; Chhay Ty; Preston TR. 2004. Water spinach (*Ipomoea aquatica*) and Stylo 184 (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184) as basal diets for growing rabbits. Livestock Research for Rural Development 16(5):34. bit.ly/3LLYej7
- Pitiwittayakul N; Bureenok S; Schonewille JT. 2021. Selective thermotolerant lactic acid bacteria isolated from fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria and their effects on fermentation quality of stylo silages. Frontiers in Microbiology 12:673946. doi: [10.3389/fmicb.2021.673946](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.673946)
- Pizarro EA, ed. 1983. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Resultados 1979–1982. Segunda Reunión de la RIEPT, Septiembre 27–29, 1982. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 459 p. hdl.handle.net/10568/56305
- Pizarro EA, ed. 1985. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Resultados 1982–1985. Tercera Reunión de la RIEPT, Octubre 21–24, 1985. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 2 vols., 1,228 p. hdl.handle.net/10568/56339
- Pizarro EA, ed. 1988. Primera Reunión de la RIEPT-CAC, Noviembre 17–19, 1988, Veracruz, México. INIFAP and CIAT, Cali, Colombia. 495 p. hdl.handle.net/10568/56307
- Rakotomanana OR. 2021. Effect of *Stylosanthes* pit silage on dairy cows. International Journal of Agriculture Extension and Social Development 4(2):102–105. bit.ly/42uAPcn
- Randrianafizanaka MT; Aufray P; Andrianaivo AP; Ramontaa IR; Rodenburg J. 2018. Combined effects of

- cover crops, mulch, zero-tillage and resistant varieties on *Striga asiatica* (L.) Kuntze in rice-maize rotation systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 256:23–33. doi: [10.1016/j.agee.2017.12.005](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.005)
- Razafinario DT; Rakotomanana O; Razanamparany L. 2014. Intégration agriculture-élevage: Valorisation de *Stylosanthes* CIAT 184 pour l'alimentation des vaches laitières. *Bulletin de l'Académie Malgache XCIII/1:229–238.* hal.archives-ouvertes.fr/hal-03342046
- Reátegui K; Vera RR; Loker WL; Vásquez M. 1995. On-farm grass-legume pasture performance in the Peruvian rainforest. *Experimental Agriculture* 31(2):227–239. doi: [10.1017/S0014479700025308](https://doi.org/10.1017/S0014479700025308)
- Reyes C; Ordóñez H; Pinedo L. 1985. *Stylosanthes guianensis* cv. "Pucallpa", leguminosa forrajera para la Amazonía. Boletín Técnico No. 3. Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA) and Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA), IVITA Estación Principal del Trópico, Pucallpa, Peru. 13 p. bit.ly/42n3iRs
- Rippstein G, ed. 1998. RABAOC (Réseau de recherches en alimentation du bétail en Afrique Occidentale et Centrale). Rapport de synthèse, Rapport No. 98-044. CIRAD-EMVT, Montpellier, France and CIAT, Cali, Colombia. 88 p. hdl.handle.net/10568/54549
- Saito K; Azoma K; Oikeh SO. 2010. Combined effects of *Stylosanthes guianensis* fallow and tillage management on upland rice yield, weeds and soils in southern Benin. *Soil and Tillage Research* 107(2):57–63. doi: [10.1016/j.still.2010.03.001](https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.001)
- Saito K; Linquist B; Keobualapha B; Phanthaboon K; Shiraiwa T; Horie T. 2006. *Stylosanthes guianensis* as a short-term fallow crop for improving upland rice productivity in northern Laos. *Field Crops Research* 96(2-3):438–447. doi: [10.1016/j.fcr.2005.09.005](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.09.005)
- Sarría R; Calderón A; Thro AM; Torres E; Mayer JE; Roca WM. 1994. Agrobacterium-mediated transformation of *Stylosanthes guianensis* and production of transgenic plants. *Plant Science* 96(1-2):119–127. doi: [10.1016/0168-9452\(94\)90228-3](https://doi.org/10.1016/0168-9452(94)90228-3)
- Satjipanon C; Chinosang W; Susaena W; Gobius N; Sivichai S. 1995. Forage Seeds Project in Thailand: Activities, results and conclusions. In: Stür WW; Cameron AG; Hacker JB, eds. *Forages for Smallholders*. Proceedings of the third meeting of the Southeast Asian Regional Forage Seeds Project, Samarinda, Indonesia, 23–28 October 1994. CIAT Working Document No. 143, 1995. CIAT, Cali, Colombia. p. 45–58. bit.ly/3APdpD5
- Sauma G; Pizarro EA. 2007. A novel approach for seed production by small farmers in South America: SEFO story. In: Hare MD; Wongpichet K, eds. *Forages: A pathway to prosperity for smallholder farmers*. Proceedings of an International Forage Symposium, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Thailand. p. 89–102. ISBN: 9789745231412
- Schultze-Kraft, R. 1976. Untersuchungen über die Eignung von Arten und Ökotypen der Leguminosengattung *Stylosanthes* zur Weideverbesserung in tropischen Savannen Südamerikas, am Beispiel der kolumbianischen Llanos Orientales. Ph.D. Thesis. Justus Liebig-Universität Giessen, Germany. 244 p.
- Schultze-Kraft R; Peters M. 1997. Tropical legumes in agricultural production and resource management: An overview. *Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung* 24:1–7.
- Schultze-Kraft R; Peters M; Wenzl P. 2020. A historical appraisal of the tropical forages collection conserved at CIAT. *Genetic Resources* 1(2):51–68. doi: [10.46265/genresj.KZEW5023](https://doi.org/10.46265/genresj.KZEW5023)
- Schultze-Kraft R; Rao IM; Peters M; Clements RJ; Bai Changjun; Liu Guodao. 2018. Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 6:1–14. doi: [10.17138/tgt\(6\)1-14](https://doi.org/10.17138/tgt(6)1-14)
- Shelton HM; Franzel SC; Peters M. 2005. Adoption of tropical legume technology around the world: Analysis of success. *Tropical Grasslands* 39:198–209. bit.ly/3nvW3rC
- Song Jianling; Zou Xiaoyan; Liu Pandao; Cardoso JA; Schultze-Kraft R; Liu Guodao; Luo Lijuan; Chen Zhijian. 2022. Differential expressions and enzymatic properties of malate dehydrogenases in response to nutrient and metal stresses in *Stylosanthes guianensis*. *Plant Physiology and Biochemistry* 170:325–337. doi: [10.1016/j.plaphy.2021.12.012](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.012)
- Stace HM; Edye LA, eds. 1984. *The biology and agronomy of Stylosanthes*. Academic Press, North Ryde, NSW, Australia. 636 p. doi: [10.1016/B978-0-12-661680-4.X5001-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-661680-4.X5001-X)
- Stür WW, ed. 1997. Feed resources for smallholder livestock production in Southeast Asia. Proceedings of a regional meeting held at Vientiane, Lao PDR, 16–20 January 1996. *Forages for Smallholders Project*, Technical Report No. 1. CIAT Working Document 156, 1997. CIAT, Cali, Colombia. 93 p. hdl.handle.net/10568/56455
- Stür WW, ed. 1998. *Forages for Smallholders Project*. Technical Report No. 4. Proceedings of the Third Regional Meeting of the Forages for Smallholders Project held at the Agency for Livestock Services of East Kalimantan, Samarinda, East Kalimantan, Indonesia, 23–26 March 1998. CIAT Working Document No. 188. CIAT, Cali, Colombia. 220 p. bit.ly/3LZ4eWQ
- Stür WW; Cameron AG; Hacker JB, eds. 1995. *Forages for Smallholders*. Proceedings of the third meeting of the Southeast Asian Regional Forage Seeds Project, Samarinda, Indonesia, 23–28 October 1994. CIAT Working Document No. 143, 1995. CIAT, Cali, Colombia. 149 p. bit.ly/3APdpD5
- Stür WW; Horne PM; Gabunada Jr FA; Phengsavanh P; Kerridge PC. 2002. Forage options for smallholder crop-animal systems in Southeast Asia: Working with farmers

- to find solutions. Agricultural Systems 71(1–2):75–98. doi: [10.1016/S0308-521X\(01\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00037-3)
- Stür WW; Horne PM; Hacker JB; Kerridge PC, eds. 2000b. Working with farmers: The key to adoption of forage technologies. Proceedings of an International Workshop held in Cagayan de Oro City, Mindanao, Philippines, 12–15 October 1999. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Proceedings No. 95, Canberra, ACT, Australia. 325 p. bit.ly/3LWtZXS
- Stür WW; Horne PM; Phengsavanh P; Gabunada F; Khanh TT; Connell J. 2007. Planted forages – the key for making money from smallholder livestock production: Experiences from CIAT's forage R&D in Southeast Asia. In: Hare MD; Wongpichet K, eds. Forages: A pathway to prosperity for smallholder farmers. Proceedings of an International Forage Symposium, 5–7 March 2007, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Thailand. p. 313–331. ISBN: 9789745231412
- Stür WW; Ibrahim T; Tuhulele M; Le Hoa Binh; Gabunada F; Ibrahim; Nakamanee G; Phimphachanhvongsod V; Liu Guodao; Horne PM. 2000a. Adaptation of forages to climate, soils and use in smallholder farming systems in Southeast Asia. In: Stür WW; Horne PM; Hacker JB; Kerridge PC, eds. Working with farmers: The key to adoption of forage technologies. Proceedings of an International Workshop held in Cagayan de Oro City, Mindanao, Philippines, 12–15 October 1999. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Proceedings No. 95, Canberra, ACT, Australia. p. 112–119. bit.ly/3LWtZXS
- Stür W; Phengsavanh P; Keonouchanh S; Phimphachanhvongsod V; Phengvilaysouk A; Kopinski J. 2010. Final Report: Forage legumes for supplementing village pigs in Lao PDR. Project No. AH/2004/046. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, ACT, Australia. 74 p. bit.ly/42r970q
- Suárez JD; Villavicencio C. 1988. Producción de semillas en *Brachiaria decumbens* CIAT-606, *Stylosanthes guianensis* CIAT-184 y varios cvs. en la región central de Cuba. In: Pizarro EA, ed. 1a Reunión de la RIEPT-CAC, 17–19 Noviembre 1988, Veracruz, México. INIFAP and CIAT, Cali, Colombia. p. 480–481. bit.ly/4278wRz
- Sukkasem P; Mungmeechai S; Bruakeaw P. 2003. Effect of cutting interval and height on yield and chemical composition of *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 in Ban-thon soil series. Animal Nutrition Division Annual Research Report 2003, Department of Livestock Development, Bangkok, Thailand. p. 114–125. (In Thai). bit.ly/3nIw8NL
- Sylvester-Bradley R. 2019. “Legumix” *Stylosanthes* pellets: A healthier and more sustainable animal feed. Outlook on Agriculture 48(3):229–236. doi: [10.1177/0030727019870835](https://doi.org/10.1177/0030727019870835)
- Tan Jiali; Tang Huashan; Niu Yuejing; Chen Youguang; Lu Shaoyun; Guo Zhenfei; Li Haihang. 2009. Isolation and characterisation of gamma radiation-induced dwarf mutants of *Stylosanthes guianensis*. Tropical Grasslands 43:53–61. bit.ly/42nNeig
- Tarawali SA. 1994. Evaluating selected forage legumes for livestock and crop production in the subhumid zone of Nigeria. The Journal of Agricultural Science 123(1):55–60. doi: [10.1017/S0021859600067770](https://doi.org/10.1017/S0021859600067770)
- Tarawali SA. 2000. An approach for the evaluation of herbaceous legumes with multiple benefits. In: Carsky R; Eteka A; Keatinge J; Manyong V, eds. Cover crops for natural resource management in West Africa – Plantes de couverture et gestion des ressources naturelles en Afrique occidentale. Proceedings of a workshop organized by IITA and CIEPCA, 26–29 October 1999, Cotonou, Benin. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria. p. 71–94. hdl.handle.net/10568/92678
- Tarawali SA; Peters M; Jama AA. 1994. Species screening and multi-locational testing of *Stylosanthes* species in West Africa. In: de Leeuw PN; Mohamed-Saleem MA; Nyamu AM, eds. *Stylosanthes* as a forage and fallow crop. Proceedings of the Regional Workshop on the Use of *Stylosanthes* in West Africa held in Kaduna, Nigeria, 26–31 October 1992. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia. p. 81–95. hdl.handle.net/10568/2720
- Tarawali SA; Peters M; Schultze-Kraft R. 1999. Forage legumes for sustainable agriculture and livestock production in subhumid West Africa. Experiment 1: Evaluation of selected grass-legume combinations for supplementation of young calves. ILRI Project Report. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. p. 29–38. hdl.handle.net/10568/49704
- Thang CM; Ledin I; Bertilsson J. 2010. Effect of feeding cassava and/or *Stylosanthes* foliage on the performance of crossbred growing cattle. Tropical Animal Health and Production 42:1–11. doi: [10.1007/s11250-009-9378-8](https://doi.org/10.1007/s11250-009-9378-8)
- Toledo JM; Schultze-Kraft R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. In: Toledo JM, ed. Manual para la evaluación agronómica: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 91–110. hdl.handle.net/10568/54148
- Tuley P. 1968. *Stylosanthes gracilis*. Review Article. Herbage Abstracts 38:87–94.
- Vela J. 2004a. Use of *Stylosanthes guianensis* for strategic supplementation of pre-weaned calves. In: Holmann F; Lascano C, eds. Feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America and the Caribbean: A project executed by the Tropileche Consortium. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Tropileche Consortium, Cali, Colombia; SLP (System-wide Livestock Programme), Addis Ababa, Ethiopia; and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. p. 71–72. bit.ly/44rZDDX
- Vela J. 2004b. Rice (*Oryza sativa*) yield as an indicator of soil fertility after the incorporation of *Stylosanthes guianensis*

- stubble. In: Holmann F; Lascano C, eds. Feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America and the Caribbean: A project executed by the Tropileche Consortium. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Tropileche Consortium, Cali, Colombia; SLP (System-wide Livestock Programme), Addis Ababa, Ethiopia; and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. p. 12–13. bit.ly/44rZDDX
- Velásquez J; Ruiz G; Lascano C. 2004. Feeding pre-weaned calves with *Stylosanthes guianensis* in dual-purpose production systems. In: Holmann F; Lascano C, eds. Feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America and the Caribbean: A project executed by the Tropileche Consortium. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Tropileche Consortium, Cali, Colombia; SLP (System-wide Livestock Programme), Addis Ababa, Ethiopia; and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. p. 73–74. bit.ly/44rZDDX
- Velásquez Ramírez MG; del Castillo Torres D; Guerrero Barrantes JA; Vásquez Bardales J; Thomas E; Cusi Auca E; Chinen Gushiken M; Muñoz Diaz B; Russo R; Corvera Gomringer R. 2021. Soil recovery of alluvial gold mine spoils in the Peruvian Amazon using *Stylosanthes guianensis*, a promising cover crop. Land Degradation & Development 32(18):5143–5153. doi: [10.1002/ldr.4118](https://doi.org/10.1002/ldr.4118)
- Veraplakorn V; Na Nakorn M; Kaveeta L; Suwanwong S; Bennett IJ. 2012. Variation and long term regenerative capacity of two important tropical forage legumes: Cavalcade (*Centrosema pascuorum* cv. Cavalcade) and Stylo 184 (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184) in vitro. African Journal of Biotechnology 11:15843–15851. doi: [10.5897/AJB11.2412](https://doi.org/10.5897/AJB11.2412)
- Veraplakorn V; Nanakorn M; Kaveeta L; Suwanwong S; Bennett IJ. 2013a. Variation in ion accumulation as a measure of salt tolerance in seedling and callus of *Stylosanthes guianensis*. Theoretical and Experimental Plant Physiology 25(2):106–115. doi: [10.1590/S2197-00252013000200003](https://doi.org/10.1590/S2197-00252013000200003)
- Veraplakorn V; Nanakorn M; Bennett IB; Kaveeta L; Suwanwong S. 2013b. Antioxidant enzyme activity in salt tolerant selected clones of stylo 184 (*Stylosanthes guianensis* CIAT 184), an important forage legume. Kasetsart Journal (Natural Science) 47(4):516–527. bit.ly/42pXVS2
- Wang Dongmei; Zhu Jianbo; Peng Ming; Zhou Peng. 2008. Induction of a protective antibody response to FMDV in mice following oral immunization with transgenic *Stylosanthes* spp. as a feedstuff additive. Transgenic Research 17:1163–1170. doi: [10.1007/s11248-008-9188-1](https://doi.org/10.1007/s11248-008-9188-1)
- Wang Hui; Chen Zhijian; Liu Guodao; Bai Chanjun; Qiu Hong; Jia Yanxing; Luo Lijuan. 2017. Alterations of growth, antioxidant system and gene expression in *Stylosanthes guianensis* during *Colletotrichum gloeosporioides* infection. Plant Physiology and Biochemistry 118:256–266. doi: [10.1016/j.jplphys.2017.06.024](https://doi.org/10.1016/j.jplphys.2017.06.024)
- Wang Linjie; Wang Wenqiang; Ye Miao; Peters M; Schultze-Kraft R; Liu Guodao; Chen Zhijian. 2023. Development of transgenic composite *Stylosanthes* plants to study root growth regulated by a β -expansin gene, SgEXPB1, under phosphorus deficiency. Plant Cell Reports 42(3):575–585. doi: [10.1007/s00299-023-02978-y](https://doi.org/10.1007/s00299-023-02978-y)
- Williams RJ; Reid R; Schultze-Kraft R; Costa NMS; Thomas BD. 1984. Natural distribution of *Stylosanthes*. In: Stace HM; Edye LA, eds. The biology and agronomy of *Stylosanthes*. Academic Press Australia, North Ryde, NSW, Australia. p. 73–101. doi: [10.1016/B978-0-12-661680-4.X5001-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-661680-4.X5001-X)
- Yadav LP; Boyd D; Stür W; Cramb R. 2022. Forages – taking stock and identifying research needs. Final Report FR2021-079. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, ACT, Australia. bit.ly/3NOeCC0
- Yang Jinfen; Guo Zhenfei. 2007. Cloning of a 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase gene (SgNCED1) from *Stylosanthes guianensis* and its expression in response to abiotic stresses. Plant Cell Reports 26:1383–1390. doi: [10.1007/s00299-007-0325-8](https://doi.org/10.1007/s00299-007-0325-8)
- Yi Kexian; Luo Ping; Chen Helong; Tang Jun. 2007. Tropical forage technologies development and multiple utilization in China. In: Hare MD; Wongpichet K, eds. Forages: A pathway to prosperity for smallholder farmers. Proceedings of an International Forage Symposium, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Thailand. p. 248–262. ISBN: 9789745231412
- Yonkeu S; Pamo ET; Rippstein G. 1994. An evaluation of some accessions and varieties of *Stylosanthes* introduced in Adamawa Plateau, Cameroon. In: de Leeuw PN; Mohamed-Saleem MA; Nyamu AM, eds. *Stylosanthes* as a forage and fallow crop. Proceedings of the Regional Workshop on the Use of *Stylosanthes* in West Africa, held in Kaduna, Nigeria, 26–31 October 1992. ILCA (International Livestock Centre for Africa), Addis Ababa, Ethiopia. p. 97–102. [handle.net/10568/2720](https://hdl.handle.net/10568/2720)
- Yuan Xuejun; Liao Li; Liu Guodao; Wang Zhiyong. 2011. Plant regeneration system from cotyledons-derived calluses cultures of *Stylosanthes guianensis* cv. 'Reyan 2'. African Journal of Biotechnology 10:11919–11924. ajol.info/index.php/ajb/article/view/96225
- Zemek O; Frossard E; Scopel E; Oberson A. 2018. The contribution of *Stylosanthes guianensis* to the nitrogen cycle in a low input legume-rice rotation under conservation agriculture. Plant and Soil 425:553–576. doi: [10.1007/s11104-018-3602-0](https://doi.org/10.1007/s11104-018-3602-0)
- Zhang Yage; Li Mao; Zhou Hanlin; Hu Lin; Li Wei; Xu Tieshan. 2018. Associative effects of stylo and king grass silage different ratios on in vitro rumen fermentation. Legume Research 41(4):584–588. doi: [10.18805/LR-335](https://doi.org/10.18805/LR-335)
- Zhou Biyan; Guo Zhenfei. 2009. Calcium is involved in the abscisic acid induced chilling resistance, ascorbate peroxidase and superoxide dismutase in *Stylosanthes*

- guianensis*. *Biologia Plantarum* 53:63–68. doi: [10.1007/s10535-009-0009-z](https://doi.org/10.1007/s10535-009-0009-z)
- Zhou Biyan; Guo Zhenfei; Liu Zhiling. 2005a. Effects of abscisic acid on antioxidant systems of *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Sw. under chilling stress. *Crop Science* 45(2):599–605. doi: [10.2135/cropsci2005.0599](https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0599)
- Zhou Biyan; Guo Zhenfei; Lin Lin. 2006. Effects of abscisic acid application on photosynthesis and photochemistry of *Stylosanthes guianensis* under chilling stress. *Plant Growth Regulation* 48:195–199. doi: [10.1007/s10725-006-0005-7](https://doi.org/10.1007/s10725-006-0005-7)
- Zhou Biyan; Guo Zhenfei; Xing Jinpeng; Huang Bingru. 2005b. Nitric oxide is involved in abscisic acid-induced antioxidant activities in *Stylosanthes guianensis*. *Journal of Experimental Botany* 56(422):3223–3228. doi: [10.1093/jxb/eri319](https://doi.org/10.1093/jxb/eri319)
- Zi Xuejuan; Liu Yue; Chen Ting; Li Mao; Zhou Hanlin; Tang Jun. 2022. Effects of sucrose, glucose and molasses on fermentation quality and bacterial community of stylo silage. *Fermentation* 8(5):191. doi: [10.3390/fermentation8050191](https://doi.org/10.3390/fermentation8050191)

(Received for publication 29 August 2022; accepted 30 March 2023; published 31 May 2023)

© 2023



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales is an open-access journal published by *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, in association with *Tropical Crops Genetic Resources Institute of the Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (TCGRI-CATAS)*. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

Research Paper

Herbage yield and quality of 12 *Urochloa* cultivars and lines in Northeast Thailand

Rendimiento y calidad de forraje de 12 cultivares y líneas de Urochloa en el noreste de Tailandia

MICHAEL D. HARE

Ubon Forage Seeds Co. Ltd, Jaeramair, Muang, Ubon Ratchathani, Thailand. ubonforageseeds.com

Abstract

Forage accumulation yields and nutritive value of 12 *Urochloa* cultivars and pre-commercial lines (Mulato II, Cayman, Cobra, Marandu, Toledo, BRS Piatā, BRS Paiaguás, Ruzi, Humidicola, BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515) were evaluated in a field trial in Northeast Thailand during 2015–2018. Total herbage yields for cultivars and lines over 3 years ranged from 15,800 kg DM/ha (Ruzi) to 33,800 kg DM/ha (Toledo). Toledo produced the highest total biomass across the 3 wet and dry seasons. BRS Piatā and BRS Paiaguás showed good performance, out-yielding Ruzi and Mulato II in total DM in both wet and dry seasons. The 6 hybrid *Urochloa* cultivars/lines (Mulato II, Cayman, Cobra, BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515) all accumulated similar total DM yields over 3 years, outyielding Ruzi ($P<0.05$). Crude protein concentrations in forage were higher ($P<0.05$) in the dry season than wet season and in leaf than stem. In the second and third dry seasons, Ruzi had higher CP concentrations in both leaf and stem than all other cultivars and lines. ADF and NDF concentrations were lower in the dry season than the wet season. This trial has shown that BRS Piatá and BRS Paiaguás would be ideal replacements for Mulato II and Ruzi in Northeast Thailand because of their superior dry season production for smallholder farmers for either cut-and-carry forage or grazing.

Keywords: acid detergent fiber, crude protein, dry matter yield, neutral detergent fiber.

Resumen

Se evaluaron los rendimientos de acumulación de forraje y el valor nutritivo de 12 cultivares y líneas pre-comerciales de *Urochloa* (Mulato II, Cayman, Cobra, Marandu, Toledo, BRS Piatā, BRS Paiaguás, Ruzi, Humidicola, BRO4/3025, BRO4/3207 y BRO4/2515) en un ensayo de campo en el noreste de Tailandia durante 2015–2018. Los rendimientos totales de forraje de los cultivares y líneas durante 3 años oscilaron entre 15,800 kg de MS/ha (Ruzi) y 33,800 kg de MS/ha (Toledo). Toledo produjo la mayor biomasa total en las 3 temporadas húmedas y secas. BRS Piatā y BRS Paiaguás tuvieron un buen desempeño, superando a Ruzi y Mulato II en MS total en ambas épocas (húmeda y seca). Los 6 cultivares/líneas híbridas de *Urochloa* (Mulato II, Cayman, Cobra, BRO4/3025, BRO4/3207 y BRO4/2515) acumularon rendimientos totales de MS similares durante 3 años, superando a Ruzi ($P<0.05$). Las concentraciones de proteína cruda en el forraje fueron más altas ($P<0.05$) en la temporada seca que en la húmeda y en la hoja que en el tallo. En la segunda y tercera temporadas secas, Ruzi tuvo concentraciones de PC más altas tanto en hojas como tallos que todos los demás cultivares y líneas. Las concentraciones de FDN y FDA fueron más bajas en la temporada seca que en la húmeda. Este ensayo ha demostrado que BRS Piatá y BRS Paiaguás serían ideales como reemplazo de Mulato II y Ruzi en el noreste de Tailandia debido a su producción superior en la temporada seca para los pequeños agricultores, ya sea para forraje de corte y acarreo o para pastoreo.

Palabras clave: fibra detergente ácida, fibra detergente neutra, proteína cruda, rendimiento de materia seca.

Correspondence: Michael D. Hare, Ubon Forage Seeds Co. Ltd,
Muu 1 602 Tha Bor Road, Jaeramair, Muang, Ubon Ratchathani
34000, Thailand. Email: michaelhareubon@gmail.com

Introduction

Urochloa (formerly *Bracharia*) species are the second most common pasture grasses grown in Thailand after *Megathyrsus maximus* cultivars (Hare 2020). *U. ruziensis* is grown widely in Thailand because of the availability of large quantities of relatively cheap seed (US\$4–6/kg), although its dry season production is very low (1,000–2,000 kg dry matter (DM)/ha) (Hare et al. 2005; 2009). Several new cultivars and pre-commercial lines of *Urochloa* have been produced, which could be suitable for sowing in Thailand (Table 1). Among them, *Urochloa* hybrid Mulato II is now increasing rapidly in popularity, because of its superior dry season production (3,000–4,000 kg DM/ha), high leaf production (77–90 % leaf) and high nutritive value (Hare et al. 2009; 2015a), despite its relatively high seed price (US\$12–14/kg).

Several field trials in Thailand over time have examined production and quality of a range of *Urochloa* hybrids and species compared with Mulato II (Hare et al. 2005; 2009; 2013; 2015a) and found inconsistent differences in production between Mulato II and the other *Urochloa* grasses. For example, Cayman produced more total DM than Mulato II in only one wet season and one dry season, with significantly lower leaf production (Hare et al. 2013; 2015a). Cobra had similar DM production to Mulato II, but with lower leaf production (Hare et al. 2015a).

Toledo produced higher wet and dry season DM yields than Mulato II in one series of trials (Hare et al. 2009), but in another series of trials, DM yields of Toledo were similar to or lower than those of Mulato II (Hare et al. 2009; 2015a). DM yields of Marandu were similar to those of Mulato II in the wet season, but lower than those of Mulato II in the dry season (Hare et al. 2009). In all trials, Mulato II consistently produced the highest percentage of leaf compared with other *Urochloa* cultivars and lines.

BRS Piatã and BRS Paiaguás were reported to have high DM production during the dry season in Brazil (Euclides et al. 2001, 2009; Valle et al. 2013). These cultivars are potential alternatives to existing *Urochloa* grasses for sowing in Thailand. In addition, 3 new *Urochloa* hybrid pre-commercial lines from Brazil (BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515) selected for good drought tolerance and Humidicola were made available from Tropical Seeds LLC.

The objective of this research was to examine the seasonal production and quality in a field trial over 3 years of 2 *U. brizantha* grasses (BRS Piatã and BRS Paiaguás), 3 *Urochloa* hybrid lines (BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515) and *U. humidicola* cultivar ‘Humidicola’, all new to Thailand, in comparison with Mulato II, Cayman, Cobra, Marandu, Toledo and Ruzi. We hypothesized that some of the new cultivars/lines would be superior to the existing cultivars, especially during the dry season.

Table 1. Background of cultivars/pre-commercial lines of *Urochloa* species and hybrids.

Name	Species and full name	Synonyms	Country and year of cultivar registration
Marandu	<i>U. brizantha</i> (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster cultivar ‘Marandu’	BRA 000591	Brazil 1984
Toledo	<i>U. brizantha</i> cultivar ‘Toledo’	CIAT 26110, Xaraés (Kenya & Brazil)	Costa Rica 2000
BRS Paiaguás	<i>U. brizantha</i> cultivar ‘BRS Paiaguás’	BRA 003891	Brazil 2013
BRS Piatã	<i>U. brizantha</i> cultivar ‘BRS Piatã’	BRA 002844	Brazil 2007
Ruzi	<i>U. ruziensis</i> (R. Germ. & C. M. Evrard) Crins	CPI 30623, CIAT 605, BRA 000281, ILRI 16692	Australia 1966
Cayman	<i>U. ruziensis</i> × <i>U. decumbens</i> (Stapf) R. D. Webster × <i>U. brizantha</i> cultivar ‘Cayman’	CIAT BR02/1752	Mexico, Guatemala, Honduras and USA 2011
Mulato II	<i>U. ruziensis</i> × <i>U. decumbens</i> × <i>U. brizantha</i> cultivar ‘Mulato II’	CIAT 36087, Convert Brazil	Colombia and Mexico 2005
Cobra	<i>U. ruziensis</i> × <i>U. decumbens</i> × <i>U. brizantha</i> cultivar ‘Cobra’	CIAT BR02/1794	Mexico and Argentina 2013
Humidicola	<i>U. humidicola</i> (Rendle) Morrone & Zuloaga cultivar ‘Humidicola’		Panama 1990
BRO4/3025	<i>U. ruziensis</i> × <i>U. decumbens</i> × <i>U. brizantha</i>	Camello	Mexico 2019
BRO4/3207	<i>U. ruziensis</i> × <i>U. decumbens</i> × <i>U. brizantha</i>		
BRO4/2515	<i>U. ruziensis</i> × <i>U. decumbens</i> × <i>U. brizantha</i>		

Materials and Methods

A field experiment was conducted at Ubon Ratchathani University, Thailand, ($15^{\circ}14'38''$ N, $104^{\circ}50'55''$ E; 130 masl) from 2015 to 2018. The site was an upland sandy low humic gley (Paleaquult) soil (Roi-et series) (Mitsuchi et al. 1986). Soil samples, taken at seed sowing in July 2015, showed that the soil was acidic (pH 4.4; water method) and low in organic matter (0.7 %), N (0.03 %), P (8.9 ppm; Bray II extraction method) and K (7.1 ppm; Flame Photometer method). During the 5 years prior to the commencement of the experiment, the site was used for a series of *Megathyrsus* grass trials. The site was prepared and 12 *Urochloa* grass cultivars and pre-commercial lines (Table 1) were sown in 3×5 m plots in a randomized complete block design with 4 replications. Details of field crop management are presented in Table 2.

Seed germination laboratory tests (alternating temperatures of 12 h light at 35°C and 12 h dark at 25°C) prior to sowing indicated percentage germination of Mulato II 50 %, Cayman 50 %, Cobra 50 %, Marandu 30 %, Toledo 30 %, BRS Piatã 10 %, BRS Paiaguás 28 %, Ruzi 30 %, Humidicola 50 %, BRO4/3025 50 %, BRO4/3207 50 % and BRO4/2515 50 %. Sowing rates were adjusted to 10 kg pure-live-seed/ha. At each sampling cut (Table 2), when the grasses were at about 40–60 cm above ground level, herbage in six 0.25 m^2 quadrats per plot was cut at 5 cm from ground level and weighed fresh. A 300 g subsample, taken from the bulked sample, was divided into leaf and stem and subsamples dried separately at 70°C for 48 h to determine dry weight. Dry weight data were accumulated each season to give total dry matter, stem and leaf yields for each season.

The dried subsamples were bulked for each season and analyzed for total N using the Kjeldahl method (Kjeldahl 1883) and crude protein (CP) estimated (CP, % N \times 6.25). Acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) concentrations were measured from seasonal bulked subsamples using the Van Soest method (Van Soest 1963). At each sampling cut, observations were recorded for emergence of inflorescences. After each sampling cut, remaining herbage in the plots was cut to 5 cm from ground level and removed.

Data from the experiments were subjected to analysis of variance, using the IRRISTAT program from the International Rice Research Institute (IRRI). Means of variables were compared using Fisher's protected LSD ($P \leq 0.05$).

Results

Rainfall

Rainfall during the wet season (May–Oct) in 2016 and 2017 was 18 and 10 %, respectively, above the 20-yr mean (Figure 1). In the dry season (Nov-Apr) rainfall was close to average in the 2015/2016 season, 13 % below average in the 2016/2017 season and 26 % above average in the 2017/2018 season.

Forage accumulation and feed quality

For all cultivars and lines, as expected DM production during the wet seasons (Table 3) far exceeded that in the dry seasons. Over 3 wet seasons, Toledo accumulated 31, 41, 44, 83 and 111 % more total DM than BRS

Table 2. Field crop management during the evaluation of *Urochloa* cultivars and lines.

Management (time)	Activity
Spraying (Jun 2015)	Glyphosate at 3 L/ha
Field cultivation (Jul 2015)	Plowing \times 2, disking \times 1, harrowing \times 1
Sowing method (10 Jul 2015)	Seed hand-broadcast and raked into soil along with lime and NPK fertilizer
Sowing rate adjusted for germination	10 kg pure-live-seed/ha
Fertilizer	1,000 kg lime/ha and 200 kg NPK/ha (15:15:15) at sowing; 200 kg NPK/ha (15:15:15) after each sampling harvest
Sampling harvests	
First wet season (2015)	17 Sep, 2 Nov (Two cuts as seed was sown in mid-wet season)
First dry season (2016)	25 Apr
Second wet season (2016)	9 Jun, 25 Jul, 6 Sep, 25 Oct
Second dry season (2017)	17 Jan, 25 Apr (Two cuts due to good growth in Nov and Dec)
Third wet season (2017)	6 Jun, 19 Jul, 4 Sep, 16 Oct
Third dry season (2018)	1 May

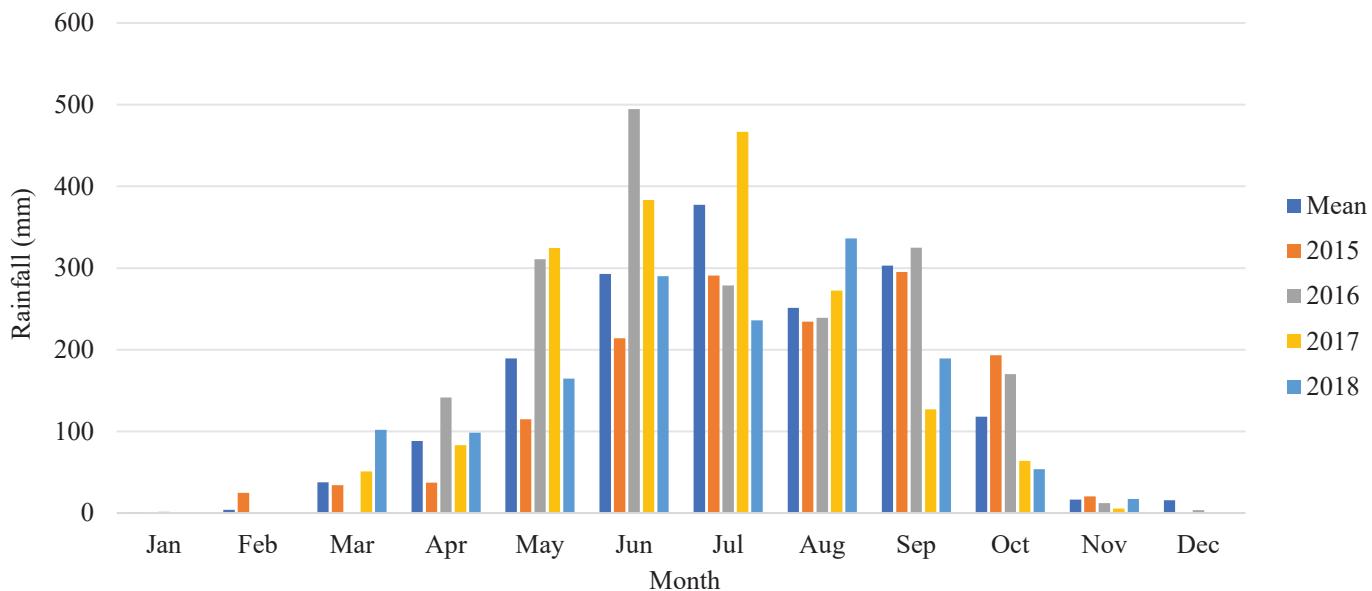


Figure 1. Rainfall at the Ubon Ratchathani University meteorological station, 200 m from the research site, during the experiment compared with the medium-term mean (1998–2018).

Table 3. Total dry matter accumulation (kg/ha) of *Urochloa* cultivars and lines in wet (May–Oct) and dry (Nov–Apr) seasons during 2015 to 2018 at Ubon Ratchathani, Thailand.

Cultivar/line	First year 2015–2016		Second year 2016–2017		Third year 2017–2018		Accumulated total yield	
	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
Mulato II	3,372bc ^l	426b	9,508bc	1,630b	8,024bc	1,160b	20,904bc	3,216b
Cayman	6,016a	483bc	9,440bc	2,014ab	8,580bc	1,088b	24,036ab	3,585ab
Cobra	5,887a	457b	8,164c	1,572b	6,336c	1,013bc	20,387bc	3,042b
Marandu	5,982a	465b	10,152b	1,778b	8,836b	1,126b	24,970ab	3,369ab
Toledo	4,778ab	481b	12,408ab	2,360ab	12,336a	1,426ab	29,522a	4,267ab
BRS Piatã	3,036bc	602a	13,184a	2,194ab	10,020b	1,527a	26,240b	4,323a
BRS Paiaguás	2,741bc	571ab	9,844bc	2,616a	9,900b	1,263ab	22,485b	4,450a
Ruzi	4,670ab	520ab	6,312c	640c	5,412c	697c	13,983c	1,857c
Humidicola	1,759c	418b	7,412c	2,640a	6,920c	1,095b	16,091c	4,153ab
BRO4/3025	5,132ab	558ab	10,108b	1,926b	8,940b	1,297ab	24,180ab	3,781ab
BRO4/3207	4,499ab	521ab	10,604b	2,120ab	9,704b	1,384ab	24,807ab	4,025ab
BRO4/2515	5,867a	514ab	9,892bc	2,386ab	9,804b	1,379ab	25,563ab	4,279ab
LSD (P<0.05)	2,054	107	1,900	644	1,848	332	5,802	1,083

^lMeans within columns followed by the same letter are not significantly different (P>0.05).

Paiaguás, Mulato II, Cobra, Humidicola and Ruzi, respectively (P<0.05; Table 3). The 6 *Urochloa* hybrids (Mulato II, Cayman, Cobra, BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515), Marandu, BRS Piatã and BRS Paiaguás accumulated similar DM yields over the 3 wet seasons and significantly (P<0.05) more DM than Ruzi and Humidicola, although BRS Piatã accumulated 28 % more DM over 3 wet seasons than Cobra. In the establishment year, Cayman, Cobra, Marandu and BRO4/2515 out-yielded Mulato II, BRS Piatã, BRS Paiaguás and

Humidicola during the wet season (P<0.05; Table 3), while in the first dry season, BRS Piatã (600 kg DM/ ha) produced higher DM yields (P<0.05) than Mulato II, Cayman, Cobra, Marandu and Toledo. Overall yields more than doubled in the second wet season (mean yield 4,478 kg DM/ha in 2015 vs. 9,952 kg DM/ha in 2016) and BRS Piatã (13,000 kg DM/ha) out-yielded all other cultivars and lines (P<0.05), except for Toledo, while Ruzi (6,300 kg DM/ha) had significantly (P<0.05) lower yields than the other cultivars, except for Cobra and Humidicola.

Growth differences between cultivars and lines occurred in the second dry season, when growth far exceeded that in the first dry season, with BRS Paiaguás, Humidicola, Toledo and BRO4/2515 having higher yields ($P<0.05$) than Mulato II, Cobra and Ruzi. High DM yields persisted in the third wet season (mean 8,734 kg DM/ha), with Toledo (12,300 kg DM/ha) out-yielding all other cultivars and lines, while BRS Piatã and BRS Paiaguás out-yielded Mulato II, Cobra, Ruzi and Humidicola. During the third dry season, DM yields for BRS Piatã (1,500 kg DM/ha) exceeded those for Mulato II, Cayman, Cobra, Marandu, Ruzi and Humidicola ($P<0.05$).

Overall DM yields for the various cultivars and lines over the 3 years ranged from 15,840 kg/ha for Ruzi to 33,789 kg/ha for Toledo. Accumulated DM yields for Ruzi were significantly lower than for all other cultivars and lines except for Humidicola in the wet season (Table 3).

In the first wet season, Cayman and Marandu produced more leaf DM (3,700 kg leaf DM/ha) than Mulato II, BRS Piatã, BRS Paiaguás, Ruzi, Humidicola and BRO4/3207 ($P<0.05$; Table 4). In the second wet season, both Toledo (8,400 kg leaf DM/ha) and BRS Piatã (7,900 kg leaf DM/ha) accumulated more leaf DM/ha than all other cultivars ($P<0.05$). Mulato II and Marandu produced more leaf DM (6,700 kg leaf DM/ha) in the second wet season than Ruzi, Humidicola, BRS Paiaguás, BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515. Similarly in the third wet season, Toledo produced more leaf dry matter (8,500 kg leaf DM/ha) than all other cultivars and lines ($P<0.05$) and in the same season,

Mulato II produced more leaf DM (6,000 kg leaf DM/ha) than Cobra, Ruzi, Humidicola, BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515. Differences between cultivars and lines in leaf production during the dry seasons when yields were low tended to be relatively small, with Toledo consistently the highest and Ruzi the lowest.

In the first wet season, Cobra (2,700 kg stem DM/ha) and BRO4/2515 (2,600 kg stem DM/ha) produced more stem than Mulato II, Toledo, BRS Piatã, BRS Paiaguás and Humidicola ($P<0.05$; Table 5). In the second wet season, BRS Piatã (5,300 kg stem DM/ha) and BRO4/3207 (5,000 kg stem DM/ha) produced more stem DM than Mulato II, Cayman, Cobra, Marandu, Toledo, BRS Paiaguás, Ruzi and Humidicola ($P<0.05$; Table 4). In the third wet season BRO4/2515 (5,200 kg stem DM/ha) produced similar stem DM yields to BRO4/3207 and BRO4/3015 and more stem DM than all the other cultivars and lines ($P<0.05$; Table 5).

In the second dry season Humidicola produced 2–4 times more stem DM (1,260 kg stem DM/ha) than all other cultivars and lines. In contrast, in the third dry season, BRO4/3025, BRO4/2515, BRO4/3207, Humidicola, BRS Paiaguás and BRS Piatã produced similar stem DM yields (320–380 kg stem DM/ha; $P>0.05$), which were greater than those of Mulato II, Cayman, Cobra, Marandu, Toledo and Ruzi ($P<0.05$; Table 5).

Mulato II produced a higher proportion ($P<0.05$) of leaves than all other cultivars and lines in all seasons (wet season average 72 %; dry season average 90 %), except in the first wet season, when Toledo and BRS

Table 4. Total leaf accumulation (kg DM/ha) of *Urochloa* cultivars and lines in wet (May–Oct) and dry (Nov–Apr) seasons from 2015 to 2018 in Ubon Ratchathani, Thailand.

Cultivar/line	First year 2015–2016		Second year 2016–2017		Third year 2017–2018	
	Wet	Dry ¹	Wet	Dry	Wet	Dry
Mulato II	2,306bc ²	-	6,744b	1,482ab	6,004b	1,033ab
Cayman	3,722a	-	6,000bc	1,654ab	5,492bc	918b
Cobra	3,100ab	-	4,644c	1,254b	3,832cd	804b
Marandu	3,692a	-	6,652bc	1,536ab	5,916bc	922b
Toledo	3,316ab	-	8,432a	1,988a	8,560a	1,202a
BRS Piatã	1,852bc	-	7,884a	1,774ab	6,112b	1,189a
BRS Paiaguás	1,750bc	-	5,828bc	1,840ab	5,836bc	881b
Ruzi	2,259b	-	3,184d	512c	2,800d	502c
Humidicola	913c	-	3,484d	1,374b	3,188d	728bc
BRO4/3025	3,009ab	-	5,454c	1,466b	4,476c	973ab
BRO4/3207	2,580bc	-	5,596c	1,576ab	4,884c	1,039ab
BRO4/2515	3,232ab	-	5,152c	1,762ab	4,564c	995ab
LSD ($P<0.05$)	1,096	-	1,064	506	1,056	265

¹Not measured; ²Means within columns followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$).

Table 5. Total stem accumulation (kg DM/ha) of *Urochloa* cultivars and lines in wet (May–Oct) and dry (Nov–Apr) seasons from 2015 to 2018 in Ubon Ratchathani, Thailand.

Cultivar/line	First year 2015–2016		Second year 2016–2017		Third year 2017–2018	
	Wet	Dry ¹	Wet	Dry	Wet	Dry
Mulato II	1,066b ²	-	2,764c	148d	2,020d	127c
Cayman	2,294ab	-	3,440bc	360cd	3,088c	170bc
Cobra	2,787a	-	3,520bc	318cd	2,504cd	209bc
Marandu	2,290ab	-	3,500bc	242c	2,920c	204bc
Toledo	1,462b	-	3,976b	372cd	3,776bc	224b
BRS Piatã	1,184b	-	5,300a	420c	3,908bc	338a
BRS Paiaguás	991b	-	4,016b	776b	4,064b	382a
Ruzi	2,411ab	-	3,128b	128d	2,612cd	195bc
Humidicola	846b	-	3,928b	1,266a	3,732bc	367a
BRO4/3025	2,123ab	-	4,654ab	460c	4,464ab	324a
BRO4/3207	1,919ab	-	5,008a	544bc	4,820ab	345a
BRO4/2515	2,635a	-	4,740ab	624bc	5,240a	384a
LSD (P<0.05)	1,040		908	270	868	94

¹Not measured; ²Means within columns followed by the same letter are not significantly different (P>0.05).

Paiaguás had similar leaf proportions to Mulato II (P>0.05; Table 6). Leaf proportions of all cultivars and lines were higher in the dry season than in the wet season. BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515 produced a dense population of inflorescences in September in the first year and in July and September in the second and third years, but inflorescence emergence of other species and lines was negligible.

Indices used to compare feed value of the grasses varied between sampling period (wet vs dry seasons) and

cultivar/line. Crude protein concentrations in forage were higher in the dry season than in the wet season and in leaf than in stem (Table 7). Humidicola had higher CP concentrations in both stem and leaf in the first wet season than all other cultivars and lines (P<0.05). In the second and third dry seasons, Ruzi, the other low-yielding grass, had higher CP concentrations in both leaf and stem than all other cultivars and lines. In the second wet season, BRS Piatã had higher CP concentrations in leaf than other cultivars and lines, except for BRS Paiaguás, Ruzi and

Table 6. Leaf proportion (% DM) of *Urochloa* cultivars and lines in wet (May–Oct) and dry (Nov–Apr) seasons from 2015 to 2018 in Ubon Ratchathani, Thailand.

Cultivar/line	First year 2015–2016		Second year 2016–2017		Third year 2017–2018	
	Wet	Dry ¹	Wet	Dry	Wet	Dry
Mulato II	68a ²	-	73a	92a	75a	89a
Cayman	62b	-	64d	83bc	64cd	84b
Cobra	52c	-	58f	82bcd	62d	79c
Marandu	62b	-	67c	87ab	67c	82bc
Toledo	69a	-	70b	84b	71b	84b
BRS Piatã	61b	-	61e	81b	62de	78c
BRS Paiaguás	64ab	-	61e	71c	60d	70de
Ruzi	48d	-	53g	83bc	54e	73d
Humidicola	52c	-	48h	59d	47f	66e
BRO4/3025	59bc	-	56f	77c	51ef	76cd
BRO4/3207	57bc	-	54g	76c	53e	75cd
BRO4/2515	55c	-	5g	75c	49f	72d
LSD (P<0.05)	5.3	-	2.5	6.6	3.2	4.2

¹Not measured; ²Means within columns followed by the same letter are not significantly different (P>0.05).

Humidicola, which had similar CP concentrations. In the third wet season, CP concentrations in leaf of Cobra were similar to those in leaf of Mulato II, Cayman and Ruzi, but higher than for all other cultivars and lines.

ADF (26–50 %) and NDF (45–78 %) concentrations varied between cultivars and lines, seasons and plant

parts (Tables 8 and 9). Dry season concentrations were lower than those in the wet season and leaf concentrations were lower than in stems. In most wet seasons, Mulato II, Cayman, Cobra and Ruzi had lower leaf ADF and NDF concentrations than many of the other cultivars and lines ($P<0.05$; Tables 8 and 9).

Table 7. Crude protein concentrations (%) in stem and leaf of *Urochloa* cultivars and lines in wet (May–Oct) and dry (Nov–Apr) seasons from 2015 to 2018 in Ubon Ratchathani, Thailand.

Cultivar/line	First year 2015–2016				Second year 2016–2017				Third year 2017–2018			
	Wet		Dry ¹		Wet		Dry		Wet		Dry	
	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf
Mulato II	7.7b ²	13.1b	-	-	2.9ab	7.5b	7.3d	9.6bc	5.9ab	9.2ab	9.9de	12.6b
Cayman	6.1cd	11.1c	-	-	2.1bc	7.3c	7.9c	8.1de	5.4b	9.3ab	12.0c	13.1b
Cobra	5.9cd	11.1c	-	-	1.8c	7.5b	8.6b	8.1de	5.7ab	9.4a	13.2b	12.1bc
Marandu	5.6d	11.0c	-	-	1.7c	7.2b	7.2d	8.9cd	5.5ab	8.3b	8.9ef	12.2bc
Toledo	5.8cd	9.6d	-	-	1.9c	6.3c	7.3d	8.6d	4.9b	8.0b	10.9d	13.2b
BRS Piatã	7.2bc	10.8cd	-	-	1.7c	8.4a	7.3d	7.9e	4.9b	7.2c	10.9d	12.1bc
BRS Paiaguás	7.7b	9.8d	-	-	1.6c	7.8ab	6.2e	7.9e	4.4c	8.2b	10.9d	12.5b
Ruzi	6.6c	11.7c	-	-	3.0ab	7.9ab	12.3a	14.6a	5.9ab	9.2ab	15.9a	17.7a
Humidicola	10.0a	14.3a	-	-	3.3a	7.8ab	5.8e	7.5e	6.0a	8.3b	8.1f	8.9c
BRO4/3025	5.7d	10.8cd	-	-	2.8ab	7.0b	7.8c	9.2cd	5.8ab	8.6b	10.4de	12.2bc
BRO4/3207	5.9cd	10.9cd	-	-	2.4bc	7.2b	7.1d	10.1b	5.8ab	8.1b	9.4e	12.9b
BRO4/2515	6.1cd	11.7c	-	-	2.6b	7.4b	7.5c	9.3c	4.9bc	8.0b	10.8d	13.2b
LSD ($P<0.05$)	0.8	0.9	-	-	0.5	0.6	0.4	0.6	0.5	0.7	1.0	3.4

¹Not measured; ²Means within columns followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$).

Table 8. Acid detergent fiber concentrations (%) in stems and leaves of *Urochloa* cultivars and lines in wet (May–Oct) and dry (Nov–Apr) seasons from 2015 to 2018 in Ubon Ratchathani, Thailand.

Cultivar/line	First year 2015–2016				Second year 2016–2017				Third year 2017–2018			
	Wet		Dry ¹		Wet		Dry		Wet		Dry	
	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf
Mulato II	26.8b ²	28.6e	-	-	39.0e	31.3i	29.7d	27.7c	40.3g	32.4d	38.7b	30.5c
Cayman	35.8a	27.8f	-	-	41.4d	31.0j	28.3e	30.3ab	42.6e	31.3e	36.7d	29.1e
Cobra	38.1a	28.1ef	-	-	45.7b	33.0h	30.8c	28.9b	44.4c	31.7de	39.1b	30.8c
Marandu	38.7a	31.9b	-	-	43.5c	36.5c	31.2bc	26.1d	43.8c	35.3b	39.1b	32.1b
Toledo	38.9a	31.1c	-	-	48.8a	37.2ab	31.6b	30.5a	45.8b	38.8a	39.8a	29.8d
BRS Piatã	38.3a	31.5bc	-	-	45.9b	37.0b	31.6b	29.1b	45.4b	36.0b	39.0b	32.9a
BRS Paiaguás	40.7a	31.0c	-	-	49.8a	35.0d	38.8a	29.1b	50.6a	35.5b	40.0a	32.9a
Ruzi	38.8a	28.0ef	-	-	44.9b	33.0h	29.6d	26.3d	45.2b	30.8e	36.1d	27.8f
Humidicola	38.9a	33.1a	-	-	44.8bc	37.3a	31.6b	31.4a	41.6f	35.4b	37.0cd	32.9a
BRO4/3025	39.8a	31.1c	-	-	45.0b	34.0e	29.3d	28.9b	43.4d	34.1c	36.9d	30.2cd
BRO4/3207	40.8a	30.6c	-	-	45.4b	33.7f	29.7d	28.3bc	44.5c	34.2c	37.0cd	30.5c
BRO4/2515	40.4a	29.8d	-	-	45.6b	33.4g	31.0bc	27.4cd	45.7b	34.5fc	37.5c	29.8d
LSD ($P<0.05$)	7.1	0.7	-	-	1.3	0.2	0.6	1.2	0.7	0.7	0.5	0.6

¹Not measured; ²Means within columns followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$).

Table 9. Neutral detergent fiber concentrations (%) in stems and leaves of *Urochloa* cultivars and lines in wet (May–Oct) and dry (Nov–Apr) seasons from 2015 to 2018 in Ubon Ratchathani, Thailand.

Cultivar/line	First year 2015–2016				Second year 2016–2017				Third year 2017–2018			
	Wet		Dry ¹		Wet		Dry		Wet		Dry	
	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf	Stem	Leaf
Mulato II	62.0d ²	44.8b	-	-	72.8e	66.2c	59.4g	58.1e	68.7f	61.5f	71.3b	62.7def
Cayman	62.3d	53.6ab	-	-	70.0f	62.1d	54.5i	63.3b	70.7d	58.9h	67.5d	63.6d
Cobra	64.4c	41.3b	-	-	75.6c	63.4cd	58.4h	59.7d	72.4cd	60.3g	69.9c	61.2e
Marandu	67.4b	60.4a	-	-	77.0bc	69.0bc	63.2c	56.5f	72.6cd	65.1e	70.5bc	66.9bc
Toledo	67.4b	62.7a	-	-	78.0b	70.8a	62.3d	62.1b	75.3bc	67.7d	71.9ab	66.9bc
BRS Piatã	66.5b	60.2a	-	-	78.6bc	73.1a	65.2b	60.6c	75.1bc	67.7d	71.8ab	68.2b
BRS Paiaguás	69.2a	59.8a	-	-	81.7a	69.8bc	71.6a	59.6d	77.7a	67.3d	72.0ab	68.2b
Ruzi	66.0b	53.9ab	-	-	75.8c	65.3c	59.6g	53.7g	72.2d	58.9h	64.9e	57.6f
Humidicola	67.0b	63.1a	-	-	77.9b	72.6ab	65.8b	63.6b	73.0c	68.4c	72.6a	71.1a
BRO4/3025	69.8a	66.3a	-	-	79.1b	70.1ab	60.2fg	64.9a	73.9c	70.0a	71.3b	66.8bc
BRO4/3207	68.1ab	61.5a	-	-	78.7b	69.8b	60.0fg	64.1ab	73.3cd	68.0c	71.3b	65.8c
BRO4/2515	69.6a	61.2a	-	-	79.0b	70.3ab	61.5e	60.0cd	76.1b	69.3b	71.8ab	66.2c
LSD (P<0.05)	1.8	14.7	-	-	2.5	3.0	0.6	0.8	1.5	0.6	1.1	1.6

¹Not measured; ²Means within columns followed by the same letter are not significantly different (P>0.05).

Discussion

This study has shown that *Urochloa* cultivars not currently used in Thailand (Toledo, BRS Piatã, BRS Paiaguás) may have advantages over the 2 cultivars in general use (Ruzi and Mulato II).

Toledo consistently produced high dry matter yields in both wet and dry seasons, supporting results of a previous study in Thailand, where Toledo produced significantly higher DM yields in both wet and dry seasons than Ruzi and Mulato II (Hare et al. 2009). In Kenya, Toledo (Xaraés) produced significantly more total DM than Mulato II in several trials, but forage quality (CP and NDF concentrations) of Mulato II was superior to that of Toledo (Njarui et al. 2016; Ondiko et al. 2016; Kifuko-Koech et al. 2021). This was in agreement with studies in Ecuador, where Toledo (Xaraés) produced significantly greater total and leaf DM yields than Mulato II, but with lower CP concentrations (Garay et al. 2017). In the current Thailand study, Toledo also produced significantly more leaf DM than Ruzi in all seasons and Mulato II in the second and third wet seasons, but with lower CP concentrations and higher NDF and ADF concentrations than both Ruzi and Mulato II.

Despite the outstanding DM performance of Toledo in this trial and in previous trials (Hare et al. 2009), there is no commercial seed production of Toledo in Thailand, which could limit wide adoption. It is late maturing and flowers later in the dry season than Ruzi and Mulato

II, producing few inflorescences, resulting in low or no seed yields (Hare et al. 2015b). Another possible factor that may limit adoption is that most farmers in Thailand use cut-and-carry forage production and Toledo has sharp leaf edges, which can cause discomfort to the handler, whereas Ruzi and Mulato II have softer leaves. We consider Toledo to be better suited to grazing than to cut-and-carry feeding.

In Kenya, BRS Piatã produced higher DM yields than Mulato II in both dry and wet seasons in several trials, but with lower CP concentrations and higher NDF concentrations (Kifuko-Koech et al. 2021). Similarly, a study from Ecuador found that BRS Piatã cut at 4- and 6-week intervals, produced significantly more total DM than Mulato II, but with lower CP concentrations (Garay et al. 2017). In contrast, a study in Rwanda found that BRS Piatã was superior in nutritional characteristics to those of Mulato II (Mutimura et al. 2017). BRS Piatã would be a valuable cultivar to be promoted more in Thailand if seed could be produced locally.

BRS Paiaguás grown in Brazil has proven to be more productive than BRS Piatã in the dry season, producing more dry matter and carrying more stock (Valle et al. 2013; Euclides et al. 2016). In the current study, BRS Paiaguás produced similar accumulated total DM yields to BRS Piatã over the 3 dry seasons. However, the quality of BRS Paiaguás was lower than that of Mulato II and Ruzi, with lower crude protein levels and higher ADF and NDF levels.

The hybrid *Urochloa* cultivars (Mulato II, Cayman and Cobra) and lines (BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515) all accumulated similar total DM yields throughout the study, which were significantly higher than those of Ruzi. Mulato II was slower to establish in the first wet season than the other hybrid cultivars and lines. However, Mulato II had a significantly higher proportion of leaf than the other hybrid cultivars and lines in all seasons. Previous studies have shown that Cayman and Cobra did not show any production and nutritive advantages over Mulato II ([Hare et al. 2013, 2015a; Vendramini et al. 2014](#)). Cayman was released for its waterlogging tolerance and Cobra for its strong upright nature for cut-and-carry forage ([Hare et al. 2015a](#)). Owing to lack of production advantages over Mulato II and their lower seed yields in village seed production programs, these cultivars are not currently promoted in Thailand. BRO4/3025 has now been released by Grupo Papalotla as cultivar ‘Camello’ (bit.ly/3Bq5wnF) for its good drought tolerance and decumbent nature making it suitable for grazing. Camello displayed no production advantages over Mulato II and in Mexico, DM production of Camello was lower than that from Toledo, Cobra and Cayman in the dry season ([Robles-Vega et al. 2020](#)). Camello has an extended flowering period in the middle of the wet season, July to September, and in trials in Thailand seed yields were negligible (Hare unpublished data).

Marandu established very quickly and, over 3 years, accumulated DM yields that were similar to those of the other cultivars and lines in the dry season, except for Ruzi. Other studies in Thailand have shown that DM yields of Marandu were consistently intermediate between those of Mulato II and Ruzi ([Hare et al. 2009](#)). Humidicola grew poorly in the wet season when over 80 % of the herbage is produced. A previous study in Thailand showed that Humidicola compared with several other grass species had intermediate wet season DM production and above average dry season DM production ([Hare et al. 1999](#)). Humidicola has a reputation for being invasive, which is not desirable for many pasture species. In the current study after 3 years, Humidicola was spreading out and invading surrounding plots from stolons. Seed production in Thailand is difficult, due to its extended flowering period in the wet season (Hare unpublished data), so it was not evaluated further.

This trial has shown that BRS Piatã and BRS Paiaguás would be ideal replacements for Mulato II and Ruzi in Northeast Thailand for their superior dry season production and they would appeal to smallholder farmers for either cut-and-carry forage or grazing. If

seeds of Toledo could be produced in Thailand, this cultivar should be considered for grazing because of its superior DM production over Mulato II and Ruzi.

Acknowledgments

We thank Tropical Seeds LLC. for providing seeds of Marandu, Toledo, BRS Piatã, BRS Paiaguás, Humidicola, BRO4/3025, BRO4/3207 and BRO4/2515 for this study, the Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, for research facilities and the staff of Ubon Forage Seeds for technical assistance.

References

- (Note of the editors: All hyperlinks were verified 12 Month 2023).
- Euclides VPD; Valle CB do; Macedo MCM; Oliveira MP. 2001. Evaluation of *Brachiaria brizantha* ecotypes under grazing in small plots. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress, 11–21 February 2001, São Pedro, SP Brazil. Theme 13:10. bit.ly/42SGGsa
 - Euclides VPD; Macedo MCM; Valle CB do; Difante GS; Barbosa RA; Cacere ER. 2009. Forage nutritive value and animal production in *Brachiaria brizantha* pastures. Pesquisa Agropecuária Brasileira 44(1):98–106. (In Portuguese). doi: [10.1590/S0100-204X2009000100014](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100014)
 - Euclides VPD; Montagner DB; Barbosa RA; Valle CB do; Nantes NN. 2016. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). Revista Brasileira de Zootecnia 45(3):85–92. doi: [10.1590/S1806-92902016000300001](https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000300001)
 - Garay JR; Cancino SJ; Zárate Fortuna P; Ibarra Hinojosa MA; Martínez González JC; González Dávila RP; Cienfuegos Rivas EG. 2017. Dry matter accumulation and crude protein concentration in *Brachiaria* spp. in the humid tropics of Ecuador. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 5(2):66–76. doi: [10.17138/tgft\(5\)66-76](https://doi.org/10.17138/tgft(5)66-76)
 - Hare MD. 2020. Herbage yield and quality of *Megathyrsus* cultivars in Northeast Thailand. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 8(3):187–194. doi: [10.17138/tgft\(8\)187-194](https://doi.org/10.17138/tgft(8)187-194)
 - Hare MD; Phengphet S; Songsiri T; Sutin N; Stern E. 2013. Effect of cutting interval on yield and quality of three brachiaria hybrids in Thailand. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 1(1):84–86. doi: [10.17138/tgft\(1\)84-86](https://doi.org/10.17138/tgft(1)84-86)
 - Hare MD; Pizarro EA; Phengphet S; Songsiri T; Sutin N. 2015a. Evaluation of new hybrid brachiaria lines in Thailand. 1. Forage production and quality. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 3(2):83–93. doi: [10.17138/tgft\(3\)83-93](https://doi.org/10.17138/tgft(3)83-93)
 - Hare MD; Pizarro EA; Phengphet S; Songsiri T; Sutin N. 2015b. Evaluation of new hybrid brachiaria lines in Thailand. 2. Seed production. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 3(2):94–103. doi: [10.17138/tgft\(3\)94-103](https://doi.org/10.17138/tgft(3)94-103)

- Hare MD; Tatsapong P; Lunpha A; Wongpichet K. 2005. *Brachiaria* species in north-east Thailand: dry matter yields and seed production. Tropical Grasslands 39:99–106. bit.ly/3nJQhmA
- Hare MD; Tatsapong P; Phengphet S. 2009. Herbage yield and quality of *Brachiaria* cultivars, *Paspalum atratum* and *Panicum maximum* in north-east Thailand. Tropical Grasslands 43:65–72. bit.ly/3I332j3
- Hare MD; Thummasaeng K; Suriyajanratong W; Wongpichet K; Saengkham M; Tatsapong P; Kaewkunya C; Booncharern P. 1999. Pasture grass and legume evaluation on seasonally waterlogged and seasonally dry soils in North-east Thailand. Tropical Grasslands 33:65–74. bit.ly/3LWbhyy
- Kifuko-Koech MN; Ndung'u-Magiroi KW; Mutoko MC; Kamidi M; Njarui DMG. 2021. Growth and yield evaluation of *Urochloa* grass cultivars in sub-humid region of Kenya. In: Proceedings of the XXIV International Grassland Congress, 25–29 October 2021. Theme 2-1:13. bit.ly/3M12jzT
- Kjeldahl J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Zeitschrift für analytische Chemie 22:366–383. doi: [10.1007/BF01338151](https://doi.org/10.1007/BF01338151)
- Mitsuchi M; Wichaidit P; Jeungnijnirund S. 1986. Outline of soils of the northeast plateau, Thailand. Their characteristics and constraints. Agricultural Development Research Center in Northeast, Khon Kaen, Thailand. 76 p.
- Mutimura M; Ebong C; Rao IM; Nsahlai IV. 2017. Effect of cutting time on agronomic and nutritional characteristics of nine commercial cultivars of *Brachiaria* grass compared with Napier grass during establishment under semi-arid conditions in Rwanda. African Journal of Agricultural Research 12:2692–2703. doi: [10.5897/AJAR2017.12474](https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12474)
- Njarui DMG; Gatheru M; Ghimire SR; Mureithi JG. 2016. Effects of seasons and cutting intervals on productivity and nutritive value of *Brachiaria* grass cultivars in semi-arid eastern Kenya, In: Njarui DMG; Gichangi EM; Ghimire SR; Muinga RW, eds. Climate Smart Brachiaria Grasses for Improving Livestock Production in East Africa – Kenya Experience. Proceedings of the workshop held in Naivasha, Kenya. 14–15 September 2016. Nairobi, Kenya: Kenya Agricultural and Livestock Research Organization. p. 46–61. hdl.handle.net/10568/79797
- Ondiko CN; Njunie MN; Njarui DMG; Auma E; Ngode L. 2016. Effects of cutting frequency on forage production and nutritive value of *Brachiaria* grass cultivars in coastal lowlands of Kenya. In: Njarui DMG; Gichangi EM; Ghimire SR; Muinga RW, eds. Climate Smart Brachiaria Grasses for Improving Livestock Production in East Africa – Kenya Experience. Proceedings of the workshop held in Naivasha, Kenya. 14–15 September 2016. Nairobi, Kenya: Kenya Agricultural and Livestock Research Organization. p. 70–79. hdl.handle.net/10568/79797
- Robles-Vega FJ; Granados-Rivera LD; Joaquín-Cancino S; Aguado-Lara G; Rivas-Jacobo MA; Garay-Martínez JR. 2020. Forage yield of *Urochloa* cultivars in a warm sub-humid environment. Agro Productividad 13(12):75–81. doi: [10.32854/agrop.v13i12.1902](https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1902)
- Valle CB do; Euclides VPB; Montagner DB; Valério JR; Fernandes CD; Macedo MCM; Verzignassi JR; Machado LAZ. 2013. BRS Paiaguás: A new *Brachiaria* (*Urochloa*) cultivar for tropical pastures in Brazil. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 1(1):121–122. doi: [10.17138/tgft\(1\)121-122](https://doi.org/10.17138/tgft(1)121-122)
- Van Soest PJ. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 2. A rapid method for the determination of fiber and lignin. Journal of the Association of Official Agricultural Chemists 46(5):829–835. doi: [10.1093/jaoac/46.5.829](https://doi.org/10.1093/jaoac/46.5.829)
- Vendramini JMB; Sollenberger LE; Soares AB; Silva WL da; Sanchez JMD; Valente AL; Aguiar AD; Mullenix MK. 2014. Harvest frequency affects herbage accumulation and nutritive value of brachiaria grass hybrids in Florida. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 2(2):197–206. doi: [10.17138/tgft\(2\)197-206](https://doi.org/10.17138/tgft(2)197-206)

(Received for publication 02 September 2022; accepted 05 March 2023; published 31 May 2023)

© 2023



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales is an open-access journal published by *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, in association with the *Tropical Crops Genetic Resources Institute of the Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (TCGRI-CATAS)*. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

Artículo Científico

Efecto a largo plazo del pastoreo rotacional en *Urochloa brizantha* cv. Marandú sobre indicadores de calidad del suelo

Long-term effects of rotational grazing in Urochloa brizantha cv. Marandú pastures on soil quality indicators

NELINO FLORIDA ROFNER¹, ROBER MILER ABAD PRINCIPE¹, ALEX RENGIFO-ROJAS² Y JAVIER NAZAR CIPRIANO¹

¹Departamento de Conservación de Suelos y agua, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú. unas.edu.pe

²Departamento de Ciencias Económicas, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú. unas.edu.pe

Resumen

La crianza de ganado bovino es una actividad importante en Perú, con sistemas de producción diferenciados por el propósito, condiciones edafoclimáticas y prácticas de manejo de las pasturas. En la finca Ruiz, distrito Codo del Pozuzo (Huánuco, Perú), se evaluó el efecto del pastoreo por varios años sobre la calidad del suelo a través de indicadores físicos (textura y resistencia a la penetración), y químicos (pH, MO, N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, CIC, saturación de bases, acidez cambiante y saturación de aluminio), en potreros de pasto *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) *brizantha* cv. Marandú manejados por 10 (PU10), 20 (PU20), 30 (PU30) y 40 años (PU40), y en un bosque secundario (BS) contiguo como referencia. Los datos se analizaron con estadística descriptiva, multivariada y a través de modelos de regresión lineal múltiple. La resistencia a la penetración en el suelo tendió a incrementar en el tiempo, y se detectaron diferencias para todos los indicadores químicos, excepto el pH y Al³⁺. La transformación del bosque en áreas de pasturas afectó negativamente los niveles de pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, y CIC y elevó el contenido de Al³⁺. Los resultados sugieren que el sistema de manejo del pastoreo aplicado hasta por 40 años en la finca bajo estudio resultó en compactación, pérdida de bases cambiables y toxicidad por aluminio en el suelo. Se requiere estudios adicionales para determinar cuál sería el efecto del manejo racional del pastoreo considerando la capacidad de carga, así como el tratamiento con arado y fertilización, para mitigar el efecto del pisoteo, revertir la compactación, mejorar la disponibilidad de nutrientes y reducir la concentración de Al³⁺ en el suelo.

Palabras clave: Compactación del suelo, manejo de pastoreo, modelamiento, toxicidad por aluminio.

Abstract

Cattle raising is an important activity in Peru, with production systems differentiated by purpose, edaphoclimatic conditions and pasture management practices. In Ruiz farm, located in Codo del Pozuzo district (Huánuco, Peru), the effect of long-term grazing on soil quality was evaluated through physical (texture, penetrometer resistance) and chemical indicators (pH, OM, N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, CEC, base saturation, exchangeable acidity and aluminum saturation), in *Urochloa brizantha* cv. Marandú pastures managed for 10 (PU10), 20 (PU20), 30 (PU30), and 40 years (PU40), compared to a contiguous secondary forest (BS) area. Data were analyzed with descriptive and multivariate statistics, and multiple linear regression models. Long-term (up to 40 years) grazing resulted in increasing soil compaction over time, and affected all chemical indicators evaluated, except for pH and Al³⁺. The transformation of forest into pastures negatively affected the pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and CEC levels, and increased Al³⁺ content. Results obtained suggest that the rotational grazing system applied for up to 40 years in the study farm resulted in soil compaction, loss of exchangeable bases and aluminum toxicity. Further studies are required to determine the effects of applying a rational grazing management

Correspondencia: Nelino Florida Rofner, Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua-UNAS. Km 1.5 vía Tingo María-Huánuco, Perú. Correo electrónico: nelinof@hotmail.com

considering the carrying capacity of the pastures, as well as plowing and fertilization, as means to mitigate trampling effects, reverse compaction, improve nutrient availability and reduce Al³⁺ content in soils.

Keywords: aluminum toxicity, grazing management, modelling, soil compaction.

Introducción

En Perú hay diversidad de sistemas de producción bovina, diferenciados por el propósito, las condiciones edafoclimáticas y el manejo del pastoreo. El hato nacional es de 5,599,893 cabezas de bovinos, con un rendimiento medio en canal de 142.16 kg/animal. Los bovinos y otros herbívoros (ovinos, caprinos, camélidos suramericanos) se manejan en 10,691,779 ha de pastos introducidos y 18,018,794 ha de pasto naturales, y se tiene un total de 2,213,377 productores ganaderos. La región Huánuco ocupa el segundo lugar en la producción bovina a nivel nacional con 22,970 t de carne/año, después de Cajamarca que produce 24,660 t anuales ([Midagri 2021](#)). En el distrito Codo del Pozuzo (Huánuco, Perú), donde se desarrolló este trabajo, la crianza de ganado bovino es la actividad económica principal.

La transformación de bosques en pasturas sin criterios técnicos ha sido una práctica común por varios años, que ha resultado en impactos negativos sobre la calidad del suelo ([Ordoñez et al. 2022](#)), con la consiguiente disminución de la disponibilidad y calidad de las pasturas, y por tanto en la productividad animal ([Escalante 2015](#)). La magnitud de esos efectos varía en función de las características del suelo, las especies forrajeras usadas, su manejo y las condiciones climáticas, entre otros factores ([Cervelati et al. 2011](#)).

El sobrepastoreo afecta los atributos del suelo como consecuencia del pisoteo ([Navarro et al. 2018](#)), y la magnitud de su efecto varía en función de la textura ([Costa et al. 2009; Cervelati et al. 2011](#)), el sistema de manejo del pastoreo ([Sarmento et al. 2008](#)), la cantidad de residuos vegetales y el contenido de humedad del suelo ([Flores et al. 2007](#)), entre otros factores. Todo esto pueden potenciar el proceso de compactación y degradación del suelo ([Muller et al. 2001; Navarro et al. 2018](#)), especialmente en suelos arcillosos ([Costa et al. 2009](#)), afectando integralmente la calidad del suelo a medida progresiva el tiempo ([Sharow 2007; Cervelati et al. 2011; Kavana et al. 2021](#)).

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto a largo plazo del manejo con

pastoreo rotacional sin control de carga, practicado comúnmente por los productores del distrito Codo del Pozuzo, sobre los indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo, tomando como caso la finca “Ruiz”. El propósito del presente estudio fue generar información sobre los riesgos potenciales del mal manejo de pasturas sobre la degradación del suelo, y con base en ello plantear alternativas de mejoramiento de los sistemas tradicionales practicados en la zona.

Materiales y Métodos

Ubicación y características del área de estudio

La investigación se desarrolló en la finca Ruiz, ubicada a 10 km de la cabecera del distrito Codo del Pozuzo (9°40'12"S y 75°27'47"O), provincia Puerto Inca, región Huánuco (Perú). De acuerdo con la clasificación de Pulgar ([2014](#)), el área de estudio pertenece a la ecorregión Omagua o Selva Baja, con medias de: 26.5 °C de temperatura, 84 % de humedad relativa y 3,400 mm de precipitación, distribuidos en forma bimodal, con la época seca entre junio y setiembre, y la lluviosa entre octubre y mayo.

Identificación de las áreas utilizadas en el estudio

Para esta investigación se identificaron potreros de 10, 20, 30 y 40 años de antigüedad, manejados bajo un esquema de pastoreo rotacional sin control de la carga, así como un área de bosque secundario contiguo a las áreas de pasturas, que sirvió como control. En cada área de estudio se estableció transectos, tomados en la parte central del potrero y trazados en dirección Este-Oeste, cortando el potreto en dos secciones similares. Allí, se tomaron ocho muestras con distanciamiento uniforme de 40 a 50 m entre puntos de muestreo a lo largo de cada transecto (Cuadro 1). La profundidad del muestreo de suelos fue en el estrato superficial de 0.00–0.15 m, siguiendo las recomendaciones de Sarmento et al. ([2008](#)), Flores et al. ([2007](#)) y Costa et al. ([2009](#)), y las muestras se enviaron para análisis en el Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (Tingo María, Perú).

Cuadro 1. Ubicación de los transectos de muestreo.

Tratamiento	Transecto	Coordenadas		Altitud (msnm)
		S	O	
BS	Inicio	9°41'37"	75°26'00"	369
	Final	9°41'23"	75°25'59"	369
PU10	Inicio	9°41'45"	75°26'00"	369
	Final	9°41'42"	75°25'52"	367
PU20	Inicio	9°41'31"	75°26'08"	361
	Final	9°41'35"	75°26'03"	363
PU30	Inicio	9°41'47"	75°25'43"	366
	Final	9°41'41"	75°25'32"	358
PU40	Inicio	9°41'27"	75°25'56"	366
	Final	9°41'35"	75°25'46"	365

Bosque secundario (BS)

El BS considerado como tratamiento control, es un área que se mantiene como reserva en la finca Ruiz. Las especies arbóreas más representativas son: *Macrolobium acaciifolium* Benth 'pashaco blanco'¹, *Inga ruiziana* G. Don 'shimbillo', *Calycophyllum spruceanum* (Bent.) Hook 'capiroña', *Polyscias murrayi* F. Muell 'palo lápiz', *Ficus insipida* Willd 'ojé', *Uncaria guianensis* (Aubel) J.F.Gmel 'uña de gato', *Himatanthus sucuuba* Woods 'bellaco caspi', *Trema micrantha* Roemex & Schult. Blume 'atadijo', *Cecropia membranacea* Trécul 'setico', *Cariniana perifloris* Miers 'cachimbo', *Ochroma pyramidalis* Cav. Ex. Lamb 'topa' y el *Euterpe oleracea* Mart. 'huasai', entre otras.

Características de las pasturas

Todas las áreas de pasturas estaban sembradas de *U. brizantha* (Richard) Stapf cv Marandú, especie que fue introducida al Perú en la década de los ochenta, excepto por el potrero de 40 años, que en los primeros cinco años estuvo cubierto por *Axonopus compressus*, y luego fue reemplazado por *U. brizantha*. Esta última es la única especie de pasto mejorado presente en las más de 80 ha de la finca. El manejo de las áreas en pasturas incluyó: tala y quema previo a la instalación de la pastura, dos a tres controles de malezas al año, y en estas no se han aplicado fertilizantes, mecanización, ni renovación de pasturas.

Las pasturas estuvieron sometidas a lo largo de los años a un sistema de pastores rotacional en cuatro potreros, con 10–15 días de ocupación y de 40–60 días de descanso, dependiendo de la época del año. La carga

¹Entre comillas (") el nombre común usado localmente

animal estimada fue de aproximadamente 1.2 UA/ha, pero esta puede haber variado ligeramente a lo largo del año debido a nacimientos, crecimiento y venta de animales. La inspección de las áreas evidenció una cobertura del suelo superior al 95 % en todas las áreas; sin embargo, la presencia de especies invasoras, estimada visualmente en cada área de pastoreo, fue menor al 5 % en potreros de 10 y 20 años y menor a 15 % en aquellos de 30 y 40 años. Esos porcentajes de malezas permiten clasificar las pasturas como levemente degradadas según Padilla et al. (2009) y de degradación moderada según la escala propuesta por Betancourt et al. (2007). En las Figuras 1A y 1B se muestra el estado de las pasturas en potreros de 40 y 20 años, respectivamente.

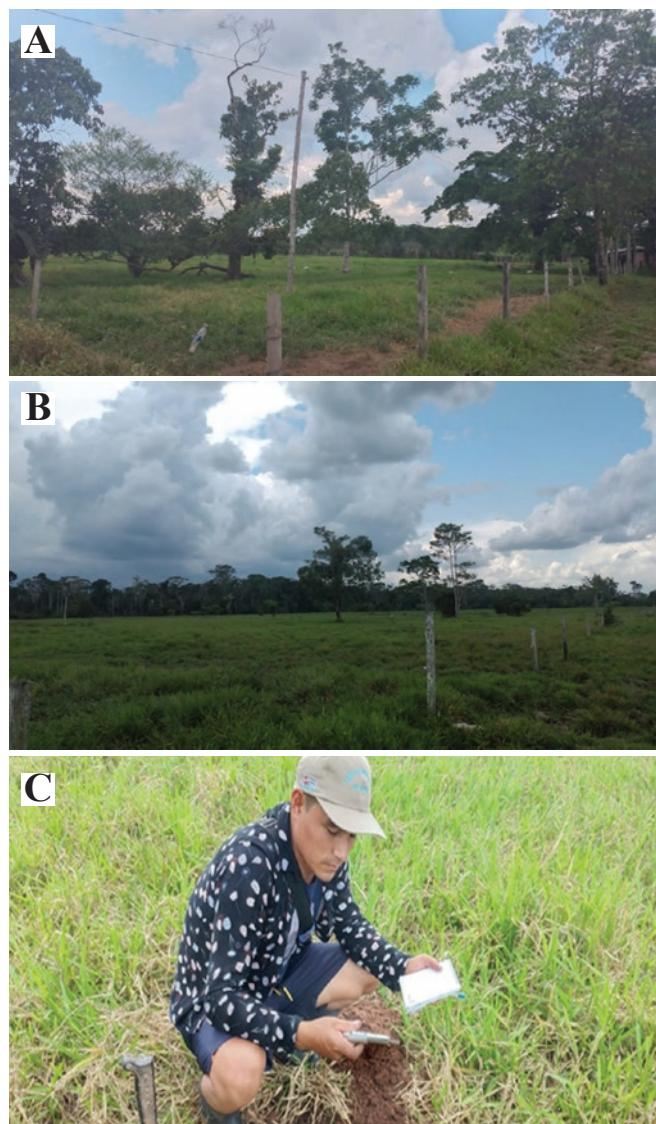


Figura 1. (A) Áreas de *U. brizantha* de 40 años de pastoreo rotacional; (B) 20 años de potreros y límite con el bosque secundario; (C) evaluación de la resistencia a la penetración con penetrómetro de cono.

Análisis de suelo

Los indicadores físicos evaluados fueron: textura y resistencia a la penetración (R_p), determinados por el método del hidrómetro de Bouyoucos y el penetrómetro de cono (Figuras 1C). Los indicadores químicos evaluados fueron: el pH determinado con el método electrométrico en agua con relación 1:2.5; el Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ fueron extraídos con acetato de amonio a pH 7.0 y determinados por absorción atómica; el Al^{3+} e H^+ fueron extraídos con KCl y determinados por titulación con NaOH 0.05 mol/L. El contenido de P disponible se determinó por el método de Olsen modificado, extraído con solución de NaHCO_3 0.5 mol/L a pH 8.5 y determinado por colorimetría. Además, se determinó la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICe), las Bases Cambiables (BC) y la Acidez Cambiable (AC), mediante saturación por acetato de amonio (CH_3COOH) a pH 7.0. El contenido de MO del suelo se determinó por el método de Walkley y Black. Los protocolos de todos los análisis de suelo están descritos en el Manual de Procedimientos de los Análisis de Suelos y Agua con Fines de Riego (Bazán 2017).

Análisis estadístico inferencial

Los tratamientos estuvieron constituidos por las áreas de pasturas con diferentes edades de uso, y se tomaron 8 muestras por cada tratamiento (40 en total). Los datos se sometieron al análisis de varianza y la prueba post-hoc de Tukey ($P<0.05$) para la comparación de medias. El análisis de componentes principales (ACP)

permittió determinar los indicadores de calidad de suelo relevantes por factor mediante el método de Varimax, siendo éstas el sustento para el análisis de los modelos de regresión lineal múltiple usados para evaluar el efecto del tratamiento 'edad de las pasturas' sobre los indicadores fisicoquímicos de calidad de suelo. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software IBM-SPSS 25 ([Meyers et al. 2013](#)) y Stata 15.0 (Stata Corporation, College Station, TX. USA) para el ACP y el modelamiento.

La Figura 2 ilustra cómo puede ser el impacto del manejo de pastoreo sobre los indicadores fisicoquímicos del suelo. A ello, se adiciona la variable control (BS) y el tratamiento que corresponden a las diferentes edades de las pasturas (PU10, PU20, PU30 y PU40).

El impacto se encuentra expresado en la ecuación (1), a través de la distancia existente entre la variable Tratamiento y Control:

$$(1) \text{ Impacto} = (C-E) - (A-B)$$

La ecuación (1), expresada por una regresión lineal múltiple (RLM) es:

$$(2) Y_i = \beta_1 + \beta_2 * \text{Control} + \beta_3 * \text{Tratamiento} + \beta_4 * \text{Edadj} + \mu_i$$

Para evitar problemas de multicolinealidad perfecta entre el intercepto (β_1) y la variable de Control, se procedió a eliminar β_1 de la ecuación (2), quedando expresado la ecuación (3).

$$(3) Y_i = \beta_2 * \text{Control} + \beta_3 * \text{Tratamiento} + \beta_4 * \text{Edadj} + \mu_i$$

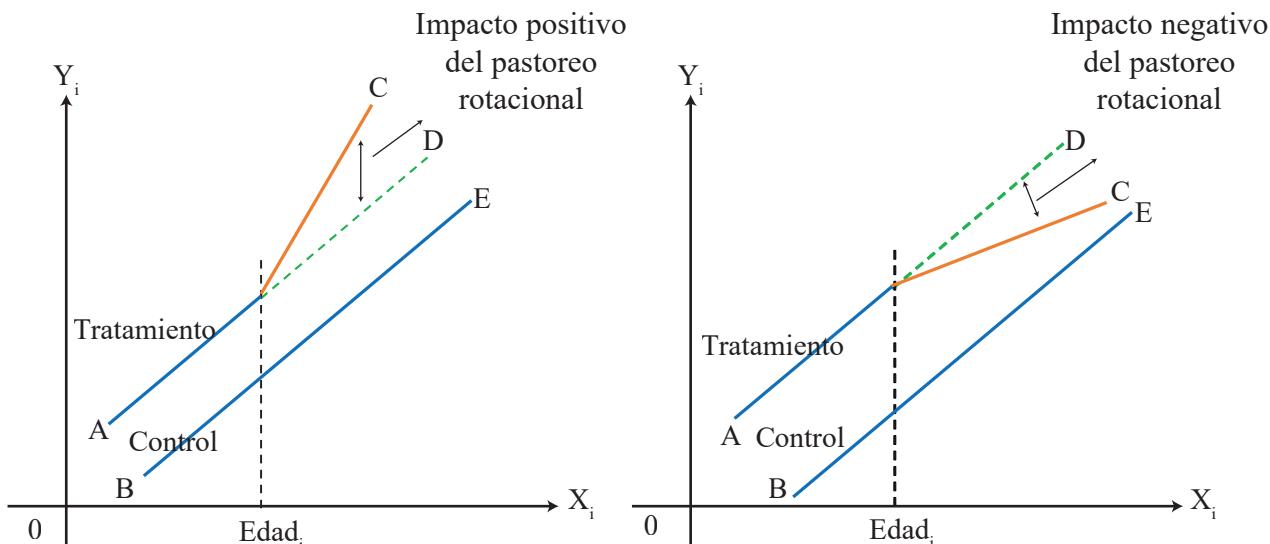


Figura 2. Análisis gráfico del impacto del manejo de pastoreo sobre los indicadores fisicoquímicos de la calidad del suelo.

Donde:

Y_i =indicador fisicoquímico del suelo

β_2 =recoge el efecto de la variable control

β_3 =recoge el efecto de la variable tratamiento

β_4 =recoge el impacto de la variable Edad j (para PU10, PU20, PU30 y PU40)

μ_i =componente estocástico ($i=1, 2, 3, \dots, n$ datos).

Los valores de β_2 , β_3 y β_4 fueron estimados por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para los que no presentaban problemas de heterocedasticidad, de lo contrario fueron estimados por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG).

Se aplicó la regresión lineal múltiple con variables independientes cuantitativas o cualitativas de respuesta dicotómica para cuantificar, a través del parámetro (β) el efecto o impacto positivo o negativo de la variable independiente sobre la variable dependiente ([Gujarati y Porter 2010](#)). Las variables de Control, Tratamiento y Edad_j son de naturaleza cualitativa, de tipo dicotómica (o 'dummies') que tomaban valores de 1 o 0. Para el caso de la variable de Control, si el dato en análisis era un indicador fisicoquímico perteneciente al tratamiento Bosque Secundario se le asignó 1 y a los otros 0.

De la misma manera se aplicó en el caso de los tratamientos de Edad de Uso de las Pasturas, si el dato del indicador fisicoquímico fue extraído de pasturas de 10, 20, 30 y 40 años de uso se les asignó 1, sin distinción alguna por la edad, y se le asignó 0 al tratamiento Bosque Secundario. La variable Edad_j, se refiere exclusivamente a los tratamientos de pasturas usadas por 10, 20, 30 y 40 años. Por consiguiente, si se quería analizar el efecto del pastoreo por 10 años, se le asignó el valor de 1 al dato de variables fisicoquímicas medidas en potreros de 10 años de uso y 0 a las otras pasturas. Lo mismo se aplicó en el caso de pasturas de 20, 30 o 40 años de uso.

Escenario 1: El punto B, la variable de Control=1 y el Tratamiento=0, por tanto, el impacto de la Edad_j=0. En tal caso el modelo es:

$$(4) Y_i = \beta_2 + \mu_i$$

Escenario 2: El punto A, la variable de Control=1, el Tratamiento=1, por tanto, el impacto de la Edad_j=0. En tal caso el modelo es:

$$(5) Y_i = \beta_2 + \beta_3 + \mu_i$$

Escenario 3: El punto E, la variable de Control=1, el Tratamiento=0, por tanto, el impacto de la Edad_j=1. En tal caso el modelo es:

$$(6) Y_i = \beta_2 + \beta_4 + \mu_i$$

Escenario 4: El punto C, la variable de Control=0, el Tratamiento=1, por tanto, el impacto de la Edad_j=1. En tal caso el modelo es:

$$(7) Y_i = \beta_3 + \beta_4 + \mu_i$$

Resultados

Indicadores fisicoquímicos del suelo

El Cuadro 2 muestra los valores de la media ± desviación estándar, así como el error estándar de la media (SEM) y el nivel de significancia del efecto de los tratamientos (áreas manejadas bajo pastoreo por diferente número de años) para los diferentes indicadores fisicoquímicos evaluados, entre ellos la granulometría, representada por las fracciones arena, limo y arcilla y la resistencia a la penetración (Rp). Se detectaron diferencias en el contenido de limo ($P \leq 0.002$) y la Rp ($P \leq 0.001$); este último con clara tendencia a incrementar o largo de los años de uso bajo pastoreo (PU40). Además, se detectaron diferencias ($P \leq 0.001$) para todos los indicadores químicos, excepto para el pH y Al, pero estos últimos mostraron valores cercanos a los encontrados como promedio para la mayoría de los suelos tropicales en el Perú ($pH < 5.5$ y $Al > 2 \text{ mg Kg}^{-1}$).

Análisis de componentes principales

La prueba de esfericidad de Bartlett en contraste con Chi-cuadrado (Cuadro 3) mostró significancia ($P < 0.01$), con valores de 2,831.77 y 2,691.30 para Con y Sin Aluminio, respectivamente, y estos fueron respaldados por un valor 0.00 como determinante de la matriz de correlación, lo cual sugiere la existencia de correspondencia lineal entre indicadores. Así mismo, los valores > 0.50 en el estadístico KMO revelan que la correlación entre los pares de indicadores no era pequeña, por lo que el adoptar el ACP permite identificar indicadores idóneos para medir el impacto de la edad de la pastura manejada bajo pastoreo a través de la RLM.

Cuadro 2. Indicadores fisicoquímicos del suelo en función de los tratamientos

Indicador	Tratamiento					Estadísticos	
	BS	PU10	PU20	PU30	PU40	SEM	Sig
Arena	54.25±0.89	54.88±1.36	58.38±4.03	55.5±1.77	57.38±3.74	7,204	0.20
Limo	29.25±1.28b	28.63±1.92b	24.5±3.38a	28.63±1.77b	26.38±3.29ab	6,146	0.002**
Arcilla	16.38±0.74ab	16.5±0.76ab	17.25±0.71b	16.13±0.64a	16.38±0.92ab	0.575	0.057
Textura	Franco arenoso	---	---				
Rp	0.98±0.12a	1.3±0.17b	1.55±0.19b	1.84±0.13c	2.39±0.23d	0.03	<0.001**
pH	4.77±0.18a	4.74±0.26a	4.60±.25a	4.81±0.30a	4.89±0.34a	0.073	0.307
MO	3.10±0.61ab	4.00±0.52c	2.38±0.16a	4.12±0.74c	3.44±0.19bc	0.252	<0.001**
N	0.16±0.03b	0.20±0.03c	0.12±0.01a	0.21±0.04c	0.17±0.01bc	0.001	<0.001**
P	2.30±0.19a	4.92±0.47b	7.59±0.58c	9.20±0.14d	10.91±0.82e	0.257	<0.001**
K	88.72±3.97b	100.45±4.02c	74.60±5.52a	108.48±3.71c	125.68±10.88d	38.91	<0.001**
Ca	1.84±0.12a	2.09±0.05bc	2.28±0.03c	1.60±0.06a	1.74±0.13ab	0.007	<0.001**
Mg	0.29±0.01bc	0.31±0.01c	0.35±0.04d	0.26±0.01a	0.27±0.03ab	0.001	<0.001**
Al	2.12±0.48a	1.81±0.25a	1.91±0.42a	2.18±0.24a	2.04±0.21a	0.086	0.142
CIC	5.03±0.43bc	4.85±0.28ab	5.39±0.21c	4.46±0.27a	4.55±0.28a	0.092	<0.001**
SB	42.54±4.13a	49.38±3.34b	48.63±2.39b	41.63±1.69a	44.00±2.67a	8,776	<0.001**
AC	57.46±4.13b	50.63±3.34a	51.38±2.39a	58.38±1.69ab	56.00±2.67ab	8,774	<0.001**
SA1	44.50±12.13ab	37.38±4.60a	36.13±5.77a	48.88±2.90b	44.63±2.33ab	43.071	0.002**

Rp=resistencia a la penetración, BS=bosque secundario, PU=pasto *Urochloa* de 10, 20, 30 y 40 años de uso bajo pastoreo, SEM=cuadrado medio del error, ***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1.

Cuadro 3. Estadístico de Bartlett y KMO según estimación con y sin Aluminio.

Estadístico	Con Aluminio	Sin Aluminio
Prueba de esfericidad de Bartlett	2,831.77***	2,691.30***
Grados de libertad (Gl)	105	91
Medida de adecuación KMO	0.552	0.682
Determinante de la matriz de correlación	0.000	0.000

***P<0.01, **P<0.05 y *P<0.10. KMO=Kaiser-Meyer-Olkin.

Los resultados del Cuadro 4, se encuentran basados en el análisis factorial por el método Varimax, por medio del cual se logró extraer los primeros cinco factores que poseen autovalores mayores a la unidad, con los cuales se pudo explicar un 84.32 % de la varianza de los indicadores físicos y químicos del suelo. Después de la rotación por Varimax, se encontró las variables que mantienen una mayor varianza (con carga factorial ≥ 0.75 , criterio aplicado para $n \leq 50$ por Hair et al. 1999). Las variables relevantes para el Factor 1 fueron Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , BC y SA1; para el Factor 2 fueron Rp, P y K^{+} ; para el Factor 3 fueron los contenidos de Arena y Limo; para el Factor 4 fueron M y N y para el Factor 5

fueron el pH y el CIC. Todos los indicadores evaluados, excepto arcilla, presentaron cargas factoriales mayores a 0.75 y contribuyeron de manera relevante a la varianza total obtenida.

Cuadro 4. Varianza total explicada por los grupos de variables relevantes.

Factor	Autovalor	Varianza total (%)	Variables relevantes
1	3.05	20.32	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , BC y SA1
2	2.96	19.71	Rp, P, y K ⁺
3	2.52	16.82	Arena y Limo
4	2.3	15.31	M y N
5	1.82	12.16	pH y CIC
Varianza total acumulada		84.32	

Las correlaciones entre factores rotados toman como referencia al factor 1 y procede a relacionarlos con los demás, y así se procedió con los otros factores hasta llegar a relacionar el factor 4 con el 5, es allí, donde se observó los indicadores con las varianzas más altas que explican a cada factor. Todos los indicadores evaluados, excepto arcilla, contribuyeron de manera importante a la varianza total obtenida.

Modelos para la resistencia a la penetración (Rp) y materia orgánica (MO)

Los valores de F-Fisher para los cuatro modelos (Cuadro 5) revelaron que las variables independientes son influyentes sobre la Rp ($P<0.01$) y se ajustaron a una distribución normal, según la prueba de Jarque-Bera. Los Modelos 1-3 del Cuadro 5 fueron estimados por MCG y el Modelo 4 por MCO. De acuerdo con los valores del coeficiente de determinación (R^2), se encontró que la variación de las variables independientes logró explicar el 53.57, 35.85, 45.91 y 78.18 % del cambio en Rp, para los modelos 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

El impacto del pastoreo sobre la Rp fue negativo y significativo durante los primeros 10 años con -0.59 kg/cm^2 (Modelo 1); mientras que resultó positivo y significativo para los potreros de 40 años, con 0.82 kg/cm^2 (Modelo 4), esto último es evidencia del proceso de compactación que ha sufrido el suelo en esas pasturas al cabo de tantos años de uso. También, la variable control y tratamiento son influyentes ($P<0.01$) sobre la Rp; sin embargo, no hay evidencia de impacto sobre la Rp para los Modelos 2 y 3 (20 y 30 años de uso, respectivamente), aunque los valores medios tienden a incrementar (Cuadro 2). Por el contrario, para el Modelo 2 la variable control y tratamiento fueron influyentes ($P<0.01$) y para el Modelo 3 solo mostró significancia ($P<0.01$) la variable tratamiento.

Respecto a la MO, los modelos 1 y 4 fueron estimados por MCG y 2 y 3 por MCO, y todos ellos se ajustaron a una función de distribución normal. La prueba de

relevancia global F-Fisher, mostró significancia para los Modelos 1 ($P<0.10$), 2 ($P<0.01$) y 3 ($P<0.05$); mientras, para el Modelo 4 no hay evidencia que el pastoreo por 40 años haya influenciado el contenido de MO.

Con base en los resultados obtenidos con esos modelos, se sugiere que el uso bajo pastoreo por 20 años tuvo un impacto negativo (-1.47 %) sobre la MO, pero el uso por 30 años ejerció un impacto positivo (0.85 %). A ello, se suma la influencia de la variable de control que fue significativa ($P<0.01$) para todos los modelos y la variable tratamiento solo para los Modelos 1 y 2. Al parecer, la transformación de bosque a pasturas impactó negativamente los niveles de MO en los primeros 20 años, pero estos luego tendieron a recuperarse con el tiempo.

Modelos para los contenidos de fósforo (P) y potasio (K)

Las pruebas de relevancia individual t-Student y global F-Fisher para los Modelos 1-4, mostraron que las variables control, tratamiento y las diferentes edades de las pasturas influyeron ($P<0.01$) sobre el contenido de fósforo (Cuadro 6). En los primeros 20 años de uso se observó un efecto negativo sobre el contenido de P, pero este pasó a ser positivo en los siguientes años con valores de 2.48 y 2.96 ppm de fósforo para las pasturas con 30 y 40 años de uso, respectivamente.

Los modelos para potasio se ajustaron a una función de distribución normal. El Modelo 1 se estimó por MCG y el 2 por MCO. La variación de las variables independientes logró explicar el 25.6 y 76.2 % de la variación del contenido de K^+ , respectivamente. Los

Cuadro 5. Modelo para Rp y MO, mediante el uso de los métodos de MCG y MGO.

Variable independiente	Rp				MO			
	Modelo 1 ¹	Modelo 2 ¹	Modelo 3 ^{1,a}	Modelo 4 ²	Modelo 1 ¹	Modelo 2 ²	Modelo 3 ²	Modelo 4 ¹
Control	0.98***	0.98***	-0.02	0.98***	3.11***	3.09***	3.09***	3.11***
Tratamiento	0.90***	0.83***	0.52***	0.58***	0.70**	0.76***	0.18	0.41
Edad								
10 años	-0.59***				0.19			
20 años	-0.28				-1.47***			
30 años	0.11				0.85***			
40 años	0.82***				-0.09			
Coeficiente (R^2)	0.5357	0.3585	0.4591	0.7818	0.1423	0.5617	0.214	0.0358
F-Fisher ($gl_1=2$, $gl_2=37$)	24.30***	10.58***	15.75***	66.27***	2.70*	23.71***	5.04**	0.6
White ($gl=2$)	-	-	-	4.55		4.58	0.75	
Jarque-Bera ($gl=2$)	1.87	0.2602	1.302	0.3241	1.597	0.5918	0.7967	2.217

^aVariable dependiente expresado en término logarítmico. ¹Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG). ²Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). gl_1 =grado de libertad del numerador, gl_2 =grados de libertad del denominador. gl =grados de libertad. *** $P<0.01$, ** $P<0.05$ y * $P<0.10$

Cuadro 6. Modelos para P y K en el suelo, mediante el uso de los métodos de MCG y MGO.

Variable independiente	P				K			
	Modelo 1 ¹	Modelo 2 ¹	Modelo 3 ¹	Modelo 4 ²	Modelo 1 ¹	Modelo 2 ^{2,a}	Modelo 3 ²	Modelo 4 ¹
Control	2.30***	2.30***	2.30***	2.30***	88.66***	4.49***	88.65***	88.70***
Tratamiento	6.93***	7.62***	4.42***	5.60***	25.65***	0.22***	11.21*	7.09
Edad								
10 años	-4.30***				-13.87***			
20 años		-2.33***				-0.40***		
30 años			2.48***				8.68	
40 años				2.96***			-	29.78***
Coeficiente (R^2)	0.617	0.5864	0.5105	0.5901	0.2555	0.7618	0.1998	0.4618
F-Fisher ($gl_1=2$, $gl_2=37$)	181.36***	242.22***	32.01***	65.91***	28.35***	59.17***	4.08**	16.90***
White ($gl=2$)					3.81			
Jarque-Bera ($gl=2$)	2.132	4.187	4.548	4.096	4.499	2.994	0.5067	3.152

^aVariable dependiente expresado en término logarítmico. ¹Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG). ²Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). gl_1 =grado de libertad del numerador, gl_2 =grados de libertad del denominador. gl =grados de libertad. *** $P<0.01$, ** $P<0.05$ y * $P<0.10$.

Modelos 3 y 4 se estimaron por MCG, ambos mantienen diferencias en cuanto a la relevancia individual; siendo, el tratamiento ($P<0.10$) para el Modelo 3 y los 40 años de pastoreo para el Modelo 4 ($P<0.01$) los que explican los cambios en el contenido de K^+ . Pero, el coeficiente de determinación (R^2) fue mayor para el Modelo 4 que para el Modelo 3 (46.2 y 20.0 %, respectivamente), y los efectos de las variables fueron significativos según la Prueba F-Fisher ($P<0.01$ y 0.05, respectivamente). Finalmente, el impacto de los años de uso bajo pastoreo sobre el contenido de K^+ fue negativo ($P<0.01$) para los potreros 20 años, y positivo para el resto, aunque solo alcanzó significancia ($P<0.01$) en el caso de los potreros con 10 y 40 años de uso.

Modelos para los contenidos de Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+})

El contenido de Ca^{2+} presentó cambios específicos para los cuatro modelos evaluados, en función de los años de uso de las pasturas (Cuadro 7). El impacto de la edad fue positivo en los primeros 20 años de uso, con 0.28 y 0.47 Cmol(+) /kg para los 10 ($P<0.01$) y 20 años ($P<0.05$); en cambio, fue negativo para las pasturas con 30 y 40 años de uso bajo pastoreo ($P<0.05$ y 0.01). También se evidenció efecto del control con 1.84 Cmol(+) /kg. En el Modelo 3, la variable tratamiento tuvo un efecto significativo sobre el contenido de Ca^{2+} ($P<0.01$) con un valor de 0.23 Cmol(+) /kg. Los Modelos 1 y 4 poseen los coeficientes de determinación más bajos con 16.49 y 18.24 %, en comparación a los Modelos 2 y 3 (49.53 %

y 45.10 %); estos explican el efecto de la variación de las variables independientes sobre la variación del contenido de Ca^{2+} en el suelo.

Respecto al Mg^{2+} , se observó un impacto positivo significativo ($P<0.01$) para potreros con 10 y 20 años de uso, con contenidos de 0.15 y 0.07 Cmol(+) /kg, respectivamente; mientras que en potreros de 30 años de uso el efecto fue negativo (-0.06 Cmol(+) /kg; $P<0.01$) (Cuadro 6). La estimación de los Modelos 2 y 3 fue por MCO y de acuerdo a la prueba F-Fisher logró explicar de forma significativa ($P<0.01$) el efecto de la edad y la variable control sobre el contenido de Mg^{2+} . Los coeficientes de determinación (R^2) indicaron que esas variables explicaron el 46.8 y 33.9 % de la variación del contenido de Mg, en el caso de potreros de 20 y 30 años de uso, respectivamente. Ambos modelos se ajustan a una función de distribución normal de acuerdo con las pruebas de Jarque-Bera y de White.

Los Modelos 1 y 4 fueron estimados por MCG. La variable control tuvo un efecto significativo ($P<0.01$) sobre el contenido de Mg^{2+} . El coeficiente de determinación logró explicar un 19.3 % de la variación en el Modelo 1; en cambio, para el Modelo 4 no se ha encontrado esa relevancia global según la prueba F-Fisher ($F=1.22$, no significativo) y un R^2 de apenas 6.6 %.

Modelos para las variables Capacidad de Intercambio Catiónico (CICe) y Bases Cambiables (BC)

El impacto del pastoreo por 20 años sobre el contenido de CICe fue positivo, con un valor de +0.70 Cmol(+) /kg

según el Modelo 2 (Cuadro 8), pero negativo (-0.09 Cmol⁽⁺⁾/kg) para los potreros con 30 años de uso, según el Modelo 3. Ambos modelos mostraron un efecto altamente significativo ($P<0.01$) por la variable control; mientras que el efecto del tratamiento fue significativo ($P<0.10$) solo para el Modelo 2 (20 años de uso). El Modelo 2 mostró una relevancia global altamente significativa ($P<0.01$) y con él se explicó el 29.3 % de la variación total, mientras que el Modelo 3 solo explicó el 12.3 % de la variación de la CICe. La variable control tuvo un efecto significativo ($P<0.01$) sobre CICe en todos

los modelos, mientras que la variable tratamiento solo alcanzó un nivel de significancia $P<0.10$ en el Modelo 2.

Respecto a la Bases Cambiables (BC), los cuatro modelos fueron estimados por MCO dada la condición de homocedasticidad de acuerdo con la prueba de White (Cuadro 8). La prueba F-Fisher para los Modelos 1 y 3 fue altamente significativa ($P<0.01$) y significativa ($P<0.05$) en el caso de los Modelos 2 y 4. El coeficiente de determinación (R^2) logró explicar apenas el 28.8, 37.7, 20.4 y 15.3 % de la variación en los modelos 1, 3, 2 y 4, respectivamente. En términos de impacto, el uso

Cuadro 7. Modelos para Ca²⁺ y Mg²⁺, mediante el uso de los métodos de MCG y MCO.

Variable independiente	P				K			
	Modelo 1 ¹	Modelo 2 ¹	Modelo 3 ¹	Modelo 4 ²	Modelo 1 ^{1,a}	Modelo 2 ²	Modelo 3 ²	Modelo 4 ¹
Control	1.84***	1.84***	1.84***	1.84***	0.03***	0.29***	0.29***	0.29***
Tratamiento	-0.04	-0.04	0.23***	0.18	-0.09***	-0.01	0.02	0.01
Edad								
10 años	0.28**				0.15***			
20 años		0.47***				0.07***		
30 años			-0.47***				-0.06***	
40 años				-0.29**				-0.03
Coeficiente (R^2)	0.1649	0.4953	0.451	0.1824	0.1931	0.4677	0.3389	0.0658
F-Fisher ($gl_1=2$, $gl_2=37$)	3.45**	17.47***	17.49***	4.11**	14.15***	16.26***	9.48***	1.22
White ($gl=2$)					2.57	5.78*		
Jarque-Bera ($gl=2$)	4.761*	1.916	5.092*	4.037	5.103*	5.52	3.669	0.471

^aVariable dependiente expresado en término logarítmico. ¹Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG).

²Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). gl_1 =grado de libertad del numerador, gl_2 =grados de libertad del denominador. gl =grados de libertad. *** $P<0.01$, ** $P<0.05$ y * $P<0.10$

Cuadro 8. Modelos para CICe y BC mediante el uso de los métodos de MCG y MCO.

Variable independiente	CICe				BC			
	Modelo 1 ²	Modelo 2 ¹	Modelo 3 ^{2,a}	Modelo 4 ²	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Control	4.85***	4.92***	1.57***	4.84***	42.59***	42.59	42.59***	42.59***
Tratamiento	-0.09	-0.30*	0.01	0.01	2.21	2.52	4.86***	4.04**
Edad								
10 años	0.1			-0.3	4.79***			
20 años		0.70***				3.56**		
30 años			-0.09**				-5.82***	
40 años								-2.53
Coeficiente (R^2)	0.0098	0.2933	0.123	0.0658	0.2881	0.2045	0.377	0.1534
F-Fisher ($gl_1=2$, $gl_2=37$)	0.18	9.83***	2.60*	0.2837*	7.49***	4.76**	11.20***	3.35**
White ($gl=2$)	3.79		4.23	4.11	0.56	2.39	2.81	2.69
Jarque-Bera ($gl=2$)	0.1992	5.24*	1.208	0.2885	1.893	3.115	0.4725	0.6841

^aVariable dependiente expresado en término logarítmico. ¹Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG).

²Estimación de parámetros por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). gl_1 =grado de libertad del numerador, gl_2 =grados de libertad del denominador. gl =grados de libertad. *** $P<0.01$, ** $P<0.05$ y * $P<0.10$

de las pasturas por 10 y 20 años tuvo un efecto positivo sobre el contenido de BC; mientras, que el uso por 30 años tuvo un efecto negativo (-5.82 %) y no se detectó significancia para el caso de pasturas usadas por 40 años. Además, para los Modelos 1, 3 y 4 fue evidente el efecto altamente significativo ($P<0.01$) de la variable control; mientras que para los Modelos 3 y 4 se alcanzó significancia ($P<0.01$ y 0.05, respectivamente) para la variable tratamiento.

Modelos para la variable Saturación de Aluminio (SAI)

Los Modelos 1, 2 y 3 evidenciaron un impacto negativo sobre la SAI ($P<0.05$) como consecuencia del uso de las pasturas por 10 y 20 años (Cuadro 9); mientras que en pasturas usadas por 30 años ese efecto fue positivo, con un valor de 8.94 % ($P<0.01$); en cambio, no se detectó impacto del pastoreo por 40 años (Modelo 4). Además, la variable control mostró un efecto altamente significativo ($P<0.01$) en los cuatro modelos, mientras que solo se detectó significancia ($P<0.05$) para la variable tratamiento en el Modelo 3. Los Modelos 1, 3 y 4, fueron estimados por MCG, mientras, para el Modelo 2 por MCO. El Modelo 3, tuvo una mayor relevancia global ($P<0.01$) con respecto a los demás modelos según la prueba de F-Fisher; mientras que el Modelo 1 fue significativo al nivel $P<0.05$, y el Modelo 2 tendió a alcanzar significancia ($P<0.10$). El Modelo 3 tuvo el valor más alto para el Coeficiente de Determinación (R^2), pero este fue de apenas 33.4 %; en cambio para los otros modelos el R^2 fue menor a 15.6 %.

Cuadro 9. Modelos para el contenido de SAI mediante el uso de los métodos de MCG y MCO.

Variable independiente	Modelo 1 ¹	Modelo 2 ¹	Modelo 3 ¹	Modelo 4 ¹
Control	43.71***	42.09***	45.18***	44.98***
Tratamiento	0.09	1.54	-5.22**	-4.09
Edad				
10 años	-6.39**			
20 años		-5.85**		
30 años			8.94***	
40 años				3.76
Coeficiente de determinación	0.1564	0.1306	0.3336	0.0768
Prueba F-Fisher ($gl_1=2$, $gl_2=37$)	3.49**	2.78*	10.70***	1.69
Prueba de White ($gl=2$)		4.99*		
Prueba de Jarque-Bera ($gl=2$)	4.3590	5.216*	2.0100	2.8610

¹Estimación de los parámetros por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG). ²Estimación de los parámetros por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). gl_1 =grado de libertad del numerador, gl_2 =grados de libertad del denominador. gl =grados de libertad. *** $P<0.01$, ** $P<0.05$ y * $P<0.10$

Discusión

Efecto del pastoreo de largo plazo sobre indicadores físicos del suelo

Los indicadores físicos permiten una evaluación del estado de conservación del suelo ([Cervelati et al. 2011](#); [Nobre 2008](#)), pues la compactación es una expresión de degradación del suelo ([Navarro et al. 2018](#)), ya que la pérdida de esta propiedad física resulta en última instancia en una disminución del rendimiento de los cultivos ([Demuner Molina et al. 2013](#)). El problema de compactación como consecuencia del sobrepastoreo es más evidente en suelos de textura más arcillosas ([Cervelati et al. 2011](#)). La compactación se manifiesta como un aumento en la densidad del suelo y en la resistencia a la penetración, debido a que se reduce el espacio poroso total, la macroporosidad y las propiedades hidráulicas que posee el suelo. Todo esto resulta en una menor capacidad para la infiltración de agua y un aumento en la susceptibilidad a la erosión ([Muller et al. 2001](#)), lo cual redonda en una reducción importante del rendimiento de las pasturas ([Costa et al. 2009](#)).

La textura de todas las áreas evaluadas en este estudio fue franco-arenosa (Cuadro 2), y pese a que estos suelos tienen menos de 20 % de arcilla, evidenciaron algún grado de compactación que se incrementó con los años de uso bajo pastoreo, pero posiblemente habría sido mayor si los suelos fuesen arcillosos ([Navarro et al. 2018](#); [Cervelati et al. 2011](#); [Costa et al. 2009](#)). El modelamiento (Cuadro 5) evidenció una reducción de la Rp en los primeros 10

años (-0.59 kg/cm^2); pero luego se observaron valores positivos ($+0.82 \text{ kg/cm}^2$) en pasturas con 40 años de uso. Estos resultados se pueden explicar por: a) la presión de pastoreo alta, al mantener un número grande de animales por encima de la capacidad de soporte de las pasturas (Kavana et al. 2021; Sánchez 2019) y b) por el efecto del pisoteo de los animales en potreros establecidos en suelos que mantienen humedad (Costa et al. 2009). Esto último explicaría la compactación registrada, ya que en el área donde se desarrolló el estudio se presentan medias de precipitación anual de 3,400 mm. Un comportamiento similar ha sido reportado para condiciones similares por otros autores (Flores et al. 2007; Sarmento et al. 2008; Costa et al. 2009; Cervelati et al. 2011; Colmán et al. 2018; Navarro et al. 2018; Sánchez 2019; Kavana et al. 2021).

Indicadores químicos

La mayoría de los indicadores químicos evaluados presentaron diferencias ($P<0.01$) debidas a los tratamientos, excepto en el caso del pH y el contenido de Al^{3+} del suelo. Los suelos eran fuertemente ácidos ($\text{pH}<5$); típicos de regiones con alta precipitación donde ocurre lavado de bases (Sagarpa 2012); las concentraciones de Al^{3+} fueron altas y no se detectaron diferencias atribuibles a los años de uso bajo pastoreo. Lo que sí se espera es que en estos suelos con bajo pH se presenten deficiencias de nutrientes tales como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , pues su absorción se ve limitada en suelos ácidos (Rivera et al. 2018; Rosas-Patiño et al. 2017).

Además, la alta pluviometría y la textura francoarenosa de los suelos evaluados pueden explicar los niveles de pH obtenidos, ya que según Sagarpa (2012) los suelos arenosos son químicamente inertes y carecen de propiedades coloidales, y es posible que los altos contenidos de arena (54.25 a 57.38 %) encontrados en los suelos donde se realizaron las evaluaciones puedan haber influido en esos resultados. Por otro lado, si bien no se detectó cambios en el pH del suelo, incluso en potreros sometidos hasta por 40 años a un manejo de pastoreo no racional, los niveles de estos no fueron diferentes a los encontrados en el bosque secundario, lo cual parecería contradecir los reportes de Navarro et al. (2018), Kavana et al. (2021) y Ordoñez et al. (2022), pero en esos estudios las comparaciones se hicieron sobre los cambios en el pH al transformar el bosque a diferentes sistemas de uso del suelo, incluyendo las pasturas.

El contenido de materia orgánica (MO) en el suelo presentó diferencias en función de los tratamientos, pero sin ninguna tendencia clara respecto al efecto de los años

de uso bajo pastoreo. Los contenidos de MO encontrados en los suelos de este estudio corresponden según Sagarpa (2012) a niveles que van entre medio y alto. La materia orgánica en el suelo se considera es la base de la fertilidad y tiene influencia directa sobre los indicadores físicos y químicos, particularmente sobre la formación de agregados estables y la disponibilidad de los principales macronutrientes nitrógeno, fósforo y azufre (Neto et al. 2018; Demuner Molina et al. 2013). Además, el contenido de MO en el suelo contribuye a mejorar las condiciones de aireación, retención de humedad, prevención de la erosión y la capacidad amortiguadora ante el pisoteo de los animales (Sagarpa 2012).

El modelamiento mostró impactos sobre el contenido de MO en áreas de pasturas con 20 y 30 años de uso; mientras, en áreas de 10 y 40 años no se encontró evidencia de dichos efectos. Cabe anotar que en este estudio no se consideró un área de bosque primario como control, sino que el comparador fue un bosque secundario, posiblemente producto de la regeneración en áreas que se habían abandonado luego de estar manejadas con cultivos anuales o pasturas.

En estudios donde el control ha sido el bosque primario sí se ha observado que la transformación de este para establecer pasturas impacta negativamente el contenido de MO en los primeros años, pero luego tiende a recuperarse y e incluso mejoran los niveles de MO con el tiempo (Santos et al. 2012; Llerme et al. 2013; Borges et al. 2015; Navarro et al. 2018). Esto ocurre porque el sistema radicular de las gramíneas que son los componentes mayoritarios de las pasturas, es capaz de explorar un mayor volumen de suelo en comparación a los cultivos anuales, y de esa manera contribuye a elevar el contenido de carbono orgánico del suelo.

Los niveles muy bajos a bajos de Ca^{2+} y muy bajos en Mg^{2+} , como los observados en este estudio, se consideran normales para suelos ácidos (Havlin et al. 1999) y es común encontrar deficiencias de ambos elementos y niveles altos en aluminio (Bohn et al. 1993) en suelos como los del área en estudio, por la relación sinérgica que existe entre estos y otros cationes de la solución suelo (Navarro y Navarro 2003). En suelos ácidos, con alto contenido de arena, fuertemente lixiviados y con baja CIC, como los encontrados en las áreas evaluadas, suele presentarse mayores deficiencias de Ca^{2+} y Mg^{2+} (Havlin et al. 1999; Bohn et al. 1993). El modelamiento mostró impacto positivo de los primeros 20 años de manejo bajo pastoreo sobre los contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} ; pero este se hizo negativo en los potreros con 30 y 40 años de uso.

En general, los resultados evidencian una tendencia de disminución y deficiencias de estos cationes con el tiempo, lo cual contrasta con los resultados obtenidos por Neto et al. (2018), quienes reportaron valores relativamente más bajos de bases Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en estratos 0.00–0.05 m y 0.05–0.10 m, al comparar las áreas bajo cobertura de bosques y pastizales. También, Kavana et al. (2021) encontraron niveles bajos y diferencias en el contenido de Ca^{2+} para diferentes tipos de uso del suelo, y concluyeron que independiente de las condiciones climáticas, la biomasa residual está determinada por la intensidad del pastoreo y las concentraciones de Ca^{2+} en el suelo. Desgraciadamente, en este estudio no se evaluó la biomasa residual que dejaban los animales después del pastoreo.

La CIC en las diferentes áreas experimentales presentó niveles entre muy bajos a bajos. Se reconoce que la CIC está influenciada por el pH, la cantidad y tipo de arcilla y la cantidad de moléculas orgánicas (Pérez et al. 2017; Sagarpa 2012). Suelos con baja CIC poseen una pobre capacidad de retención de cationes, como es el caso de los suelos arenosos o con bajos niveles de MO, por lo que se considera esta es la propiedad química responsable en gran medida de la fertilidad de los suelos y la producción agrícola (Bueno Buelvas y Fernández Lizárazo 2019).

Las áreas evaluadas eran de textura franco-arenosa y con alta pluviometría, por lo que no sorprende que se encontraran bajos niveles de CIC, de bases cambiables (BC) y altos niveles de acidez cambiante (AC). Pero, al tener niveles medios y altos de MO, como ocurre en muchas áreas de pasturas, es probable que este haya sido el responsable de sostener la CIC y la fertilidad de dichos suelos. Trabajos previos revelan diferencias para este indicador (Kavana et al. 2021; Navarro et al. 2018) cuando se comparan áreas bajo pasturas *versus* otros tipos de uso del suelo.

El aluminio no presentó diferencias debidas al tipo de uso del suelo, y los niveles encontrados se consideran tóxicos para muchas especies de plantas (Carreño y Chaparro-Giraldo 2013; Lisboa et al. 2021), pero no es el caso de pastos como la *Urochloa brizantha* (Rao et al. 2016) que fue la especie presente en las pasturas evaluadas en este estudio. El aluminio está relacionado directamente con la acidez cambiante (AC) y la saturación de aluminio (SAl) muestran diferencias debidas a los años de uso, presentando el valor más alto en las pasturas que habían sido utilizadas por 40 años.

Los altos niveles de Al^{3+} encontrados pueden explicarse por las altas precipitaciones que ocurren en la zona donde se desarrolló el estudio, las cuales pueden originar procesos intensos de alteración química

y lavado de bases que favorecen su solubilidad (May 2015). Además, bajo condiciones de suelos ácidos ($\text{pH}<5$), la concentración de Al^{3+} en la solución es alta y es fuertemente retenida en la superficie de los coloides minerales, disminuyendo la CIC del suelo (Bohn et al. 1993). Estas condiciones influyeron en la baja disponibilidad de algunos nutrientes tales como Ca^{2+} , Mg^+ , K^{2+} y P (Rivera et al. 2018), tal como se observó en las áreas de pasturas evaluadas. Finalmente, Lisboa et al. (2021) advierte que las células epidérmicas, el desarrollo de los brotes y los tejidos foliares de algunas especies e híbridos de *Urochloa* se pueden ver afectados por concentraciones altas de Al^{3+} .

Comentarios finales sobre el manejo de pasturas en la finca donde se realizó el estudio

La finca Ruiz, donde se realizó este estudio, presenta un manejo tradicional típico de la zona (Sánchez 2019), con tala y quema para el establecimiento de pastos y un manejo de pastoreo rotacional, con 10 a 15 días de ocupación, con pocos potreros, una carga animal promedio baja (1.2 UA/ha) y sin control de la carga en función de los cambios en disponibilidad de pasto que se presentan a lo largo del año (Pezo 2018). Como consecuencia de aplicar ese manejo hasta por un período tan largo como 40 años, ha habido un deterioro en los indicadores físicos y químicos del suelo, tal como se ha evidenciado en otros trabajos (Cervelati et al. 2011; Colmán et al. 2018; Ordoñez et al. 2022). Para mitigar esos efectos, varios investigadores han sugerido controlar la carga animal para mantener una mejor cobertura de pastos y así contrarrestar el efecto mecánico del pisoteo (Flores et al. 2007; Sarmento et al. 2008), aplicar fertilización orgánica e inorgánica de las pasturas para mejorar su disponibilidad (Crespo 2009; Salazar 2010; Camasca 2011), y al cabo de unos años de uso, implementar labores mecánicas para mejorar la aireación del suelo (Padilla et al. 2009).

Conclusiones

Las evaluaciones y el modelamiento en general ponen en evidencia que el manejo de pasturas bajo pastoreo rotacional no bien controlado, en 40 años ha generado problemas físicos y químicos que limitan la productividad de las pasturas, lo cual se manifestó en problemas tales como la compactación del suelo (aumento de la Rp), pérdida de bases cambiables (bajos niveles de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+) e incremento de aluminio (Al^{3+}).

Frente a los cambios producidos en el suelo por el manejo de pastoreo aplicado, se sugiere evaluar algunas estrategias de rehabilitación de pasturas degradadas como es la aplicación del arado combinado con fertilización orgánica e inorgánica, para revertir la compactación, mejorar la disponibilidad de bases cambiables y reducir la disponibilidad del Al³⁺.

Referencias

(Nota de los editores: Enlaces verificados el 24 de mayo de 2023).

- Bazán R. 2017. Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima, Perú. 89 p. bit.ly/3MWgpEj
- Betancourt H; Pezo DA; Cruz J; Beer J. 2007. Impacto Bioeconómico de la degradación de pasturas en fincas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. Revista Pastos y Forrajes 30(1): 169–175. bit.ly/43nLeXW
- Bohn HL; McNeal BL; O'Connor GA. 1993. Química del suelo. Editorial Limusa. 1º Edición. México. 363 p.
- Borges CS; Ribeiro BT; Wendling B; Cabral DA. 2015. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. Revista Ambiente & Água 10(3):660–675. doi: 10.4136/ambi-agua.1573
- Bueno Buelvas R; Fernández Lizarazo JC. 2019. La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. Ámbito Investigativo 4(1):6–12. bit.ly/429XNoN
- Camasca PL. 2011. Efecto de diferentes abonos orgánicos en el establecimiento del *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandú en la zona de Tingo María. Tesis Ing, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 71 p. handle.net/20.500.14292/785
- Carreño A; Chaparro-Giraldo A. 2013. Tolerancia al aluminio en especies vegetales: mecanismos y genes. Universitas Scientiarum 18(3):283–310. doi: 10.11144/Javeriana.SC18-3.taev
- Cervelati KF; Neto ELS; Neto EL; Sadayuki E; Silva MR; Pierangeli MAP. 2011. Efeito de diferentes sistemas de pastejo em atributos físicos do solo. Pubvet 5(22):1142. doi: 10.22256/pubvet.v5n22.1142
- Colmán PJ; Genú AM; Lustosa SBC; Pott CA. 2018. Propiedades físicas de suelos en pasturas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú en el distrito de Jasy Cañy, Paraguay. Acta Agronómica 67(1):414–419. doi: 10.15446/acag.v67n3.68923
- Crespo G. 2009. Recuperación de la fertilidad del suelo en áreas ganaderas degradadas. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 43(4):355–360. bit.ly/3OEbUzq
- Costa A da; Albuquerque JA; Mafra AL; Silva FR da. 2009. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33(2):235–244. doi: 10.1590/S0100-06832009000200001
- Demuner Molina G; Cadena Zapata M; Campos SG. 2013. Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 22(5):68–71. doi: bit.ly/3Mrqk3a
- Escalante MÁ. 2015. Estado de degradación de las pasturas de la asociación de ganaderos de Aucayacu-La Morada. Tesis Ing., Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 46 p. handle.net/20.500.14292/1313
- Flores JPC; Anghinoni I; Cassol LC; Carvalho PCF; Leite JGB; Fraga TI. 2007. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 31(4):771–780. doi: 10.1590/S0100-06832007000400017
- Gujarati DN; Porter DC. 2010. Econometría. Editorial: McGraw-Hill Interamericana. 5ta ed. México D.F. 914 p. ISBN: 978-607-15-0294-0
- Havlin JL; Beaton JD; Tisdale SL; Nelson WL. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6ta ed. Prentice Hall, Upper Saddle River. USA. 499 p.
- Kavana PY; Mtengeti EJ; Sangeda A; Mahonge C; Fyumagwa R; Bukombe J. 2021. ¿Cómo afectan actividades agro-pastoriles el forraje y las características del suelo en Serengeti occidental, Tanzania?. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 9(1):120–133. (En inglés). doi: [10.17138/tgft\(9\)120-133](https://10.17138/tgft(9)120-133)
- Lisboa LAM; Días GHO; Sacco HAA; Padovan JVR; Rodrigues GB; Ribeiro KB; Silva GG da; Cardoso AS; Pereira LB; Figueiredo PAM de. 2021. Cambios en el crecimiento y en las ultraestructuras de tejidos radiculares y foliares de *Urochloa brizantha* cultivado en suelo con niveles tóxicos de aluminio. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 9(1):23–33. (En inglés). doi: [10.17138/tgft\(9\)23-33](https://10.17138/tgft(9)23-33)
- Llerme NV; José EC; Junior SGP. 2013. Influence of soil use on organic carbon and humic substances of an Oxisol in tropical systems. En: Xu J, Wu J, He Y, eds. Functions of natural organic matter in changing environment. Zhejiang University Press and Springer Science. pp. 401–405. doi: 10.1007/978-94-007-5634-2_73
- May T. 2015. pH, aluminio y factores ambientales en suelos bajo bosques de la Cordillera Central, República Dominicana. Revista Geográfica Venezolana 56(1):59–71. handle/123456789/40097
- Meyers LS, Gamst GC, Guarino AJ. 2013. Performing data analysis using IBM SPSS. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA. ISBN: 978-1-118-36357-7.
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2021. Perfil productivo y competitivo de las principales especies y productos pecuarios. Perú. bit.ly/3MGO042. (Consultado febrero 2023).

- Muller MML; Guimarães MF; Desjardins T; Martins PFS. 2001. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. Pesquisa Agropecuária Brasileira 36(11):1409–1418. doi: [10.1590/S0100-204X2001001100012](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001001100012)
- Navarro S; Navarro G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2da ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 487p.
- Navarro L; Florida N; Navarro M. 2018. Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutradox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso. Livestock Research for Rural Development 30(8):137. bit.ly/3WOk8HD
- Neto FVC; Pereira MG; Leles PSS; Abel ELS. 2018. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba-MG. Ciência Florestal 28(1):13–24. doi: [10.5902/1980509831569](https://doi.org/10.5902/1980509831569)
- Nobre NAO. 2008. Avaliação dos atributos físicos do solo em três sistemas de uso e seus impactos na bacia hidrográfica do Rio Carapá em Colíder-MT. Tesis Mag. Sc, Universidade do Estado de Mato Grosso, Mato Grosso, Brasil. bit.ly/3Mz3BCy
- Ordoñez MC; Galicia L; Casanova JF. 2022. Evaluación del cambio de uso del suelo sobre un andosol mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 10(1):52–62. (En inglés). doi: [10.17138/tgft\(10\)52-62](https://doi.org/10.17138/tgft(10)52-62)
- Padilla C; Crespo G; Sardiñas Y. 2009. Degradación y recuperación de pastizales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 43(4):351–354. bit.ly/43ofBO3
- Pérez A; Galvis A; Bugarín R; Hernández TM; Vázquez MA; Rodríguez A. 2017. Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU^+). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(1):171–177. doi: [10.29312/remexca.v8i1.80](https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80)
- Pezo DA. 2018. Establecimiento y manejo de sistemas intensivos de pastoreo racional. Serie Técnica, Informe Técnico no. 96. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 56 p. bit.ly/436UBeY
- Pulgar J. 2014. Las ocho regiones naturales del Perú. Terra Brasilis (Nova Série) 3:1–20. doi: [10.4000/terrabrasilis.1027](https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027)
- Rao IM; Miles JW; Beebe SE; Horst WJ. 2016. Root adaptations to soils with low fertility and aluminium toxicity. Annals of Botany 118(4):593–605. doi: [10.1093/aob/mcw073](https://doi.org/10.1093/aob/mcw073)
- Rivera E; Sánchez M; Domínguez H. 2018. pH como factor de crecimiento en plantas. Revista de Iniciación Científica 4(Esp 2):101–105. doi: [10.33412/rev-ric.v4.0.1829](https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829)
- Rosas-Patiño G; Puentes-Páramo YJ; Menjivar-Flores JC. 2017. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonía colombiana. Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria 18(3):529–541. doi: [10.21930/rcta.vol18_num3_art:742](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742)
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo—Metodología de Cálculo. FAO y SAGARPA México.
- Salazar FV. 2010. Efecto de la fertilización orgánica en el establecimiento del pasto *Brachiaria brizantha* (Richard Stapf cv Marandú en Supte San Jorge - Tingo María. Tesis Ing., Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 66 p. handle.net/20.500.14292/416
- Sánchez JM. 2019. Caracterización de los sistemas de producción de vacunos para el desarrollo ganadero en el distrito de Oxapampa – Pasco. Tesis Mag. Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 109 p. handle.net/20.500.12996/3814
- Santos DC dos; Lima CLR de; Pillon CN; Alba JMF; Rosa CM da; Farias MO. 2012. Distribución de la materia orgánica en clases de agregados en un latosol arcilloso rojo bajo forestación y pastizal. Agrociencia. 46(3):231–241. bit.ly/436SLL8
- Sarmiento P; Rodrigues LRA; Cruz MCP da; Lugão SMB; Campos FP de; Centurion JF; Ferreira ME. 2008. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32(1):183–193. doi: [10.1590/S0100-06832008000100018](https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100018)
- Sharrow SH. 2007. Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. Agroforestry Systems 71(3):215–223. doi: [10.1007/s10457-007-9083-4](https://doi.org/10.1007/s10457-007-9083-4)

(Recibido para publicación 19 de mayo 2022 aceptado 21 de mayo 2023; publicado 31 de mayo 2023)

© 2023



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales es una revista de acceso abierto publicada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en asociación con el Instituto de Recursos Genéticos de Cultivos Tropicales de la Academia China de Ciencias Agrícolas Tropicales (TCGRI-CATAS). Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Artículo Científico

Palatabilidad relativa de leñosas forrajeras representativas del bosque seco tropical utilizando un método de cafetería

Relative palatability of woody forage species from the tropical dry forest using a cafeteria method

NELSON PÉREZ-ALMARIO^{1,2}, JAIRO MORA-DELGADO², DAGOBERTO CRIOLLO-CRUZ¹, CHRISTIAN THOMAS CARVAJAL-BAZURTO¹, JORGE MARIO MORENO-TURRIAGO¹ Y OSCAR EDUARDO ORJUELA-FRANCO¹

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, Espinal, Tolima, Colombia. agrosavia.co

²Grupo Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia. ut.edu.co

Resumen

Para la selección de las especies leñosas forrajeras a ser consideradas en sistemas de ganadería practicados en el ecosistema de bosque seco tropical de Colombia, se propuso utilizar como criterio la palatabilidad relativa del forraje. Para ese fin se evaluaron 20 especies que poseen características nutricionales distintas. Las especies seleccionadas se manejaron bajo podas en parcelas establecidas en el Centro de Investigación Nataima de Agrosavia. Los forrajes de esas especies fueron ofrecidos durante 19 días a cinco bovinos Blanco Orejinegro (BON) adultos, utilizando un método de cafetería con pruebas cortas de tres minutos de duración. Las especies se asignaron en pares, con un total de 190 combinaciones por animal, producto de la combinación de 20 especies tomando dos a la vez, sin repetición. La palatabilidad relativa de los forrajes se definió en función del grado de ingesta por los animales. Los resultados de las pruebas de palatabilidad identificaron nueve especies de palatabilidad muy alta y alta, las que se ordenaron así en orden descendente: *Albizia niopoides*, *Leucaena leucocephala*, *Erythrina fusca*, *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia*, *Clitoria fairchildiana*, *Spondias purpurea* y *Spondias mombin*. El par de especies que mostró la palatabilidad más alta fue la combinación *A. niopoides-L. leucocephala*, y la especie que se mostró con mayor frecuencia en combinaciones con ingesta alta fue *A. niopoides*. Se concluye que existen varias especies nativas con alta palatabilidad relativa, cuyo potencial forrajero era desconocido por técnicos y ganaderos hasta ahora, y se ratificó la palatabilidad alta para algunas especies ya conocidas.

Palabras clave: Alimentación bovina, bocados, comportamiento ingestivo, consumo, leñosas forrajeras, podas.

Abstract

The relative palatability of woody perennials' fodder has been proposed as the selection criteria for species to be integrated in livestock systems. For that purpose, 20 species with different nutritional characteristics, that grow in the tropical dry forest of Colombia, were evaluated. The woody perennials were managed under pruning, in plots established at the Agrosavia's Nataima Research Center. Fodder of those species was offered to five mature Blanco Orejinegro (BON) cattle for a total of 19 days, using a cafeteria method with each species exposed to animals for only 3 minutes. The assignment of species was in pairs, with a total of 190 pairs, resulting from the combinations of 20 species taking two at the same time, without replication. The results of the palatability trials identified nine species with very high and high palatability, which ordered in a descending manner were: *Albizia niopoides*, *Leucaena leucocephala*, *Erythrina fusca*, *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia*, *Clitoria fairchildiana*, *Spondias purpurea*

Correspondencia: Nelson Pérez-Almario, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, Colombia.

Correo electrónico: nperez@agrosavia.co

and *Spondias mombin*. The pair of species that showed the highest palatability was *A. niopoides-L. leucocephala*; and the species frequently present in combinations with high intake was *A. niopoides*. It is concluded that there are several native species with high relative palatability, whose forage potential is unknown by technicians and ranchers, and the high palatability of some species already known was confirmed.

Keywords: Bites, cattle feeding, feeding behavior, intake, pruning, woody perennials.

Introducción

Existe un interés creciente para que se reconozca la diversidad de especies leñosas presentes en las fincas ganaderas como integrantes útiles de los sistemas ganaderos ([Villanueva et al. 2009](#); [Pezo 2009](#); [Pérez-Almario et al. 2017](#)). Algunas de ellas, como *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, son ampliamente conocidas como leñosas forrajerás, por consiguiente, han sido investigadas profundamente ([Stewart 1999](#)).

Diversos estudios han documentado el conocimiento que poseen los ganaderos sobre las funciones y prácticas de uso de numerosas especies leñosas presentes en potreros, pero pese a ello, hay varias que no han sido evaluadas experimentalmente ([Vásquez et al. 2014](#); [Pérez-Almario et al. 2021](#)). A partir de los resultados obtenidos Pérez-Almario et al. ([2021](#)) sobre el conocimiento local de algunas leñosas presentes en fincas ganaderas del Bosque Seco Tropical en Colombia, se propuso desarrollar un conjunto de investigaciones rápidas y en espacios reducidos para evaluar el potencial agronómico y zootécnico de aquellas especies, para con base en ello descartar o seleccionar especies que ameritan ser incluidas en nuevos estudios.

Por otro lado, se ha documentado que estimar la palatabilidad de los forrajes en condiciones de pastoreo/ramoneo puede presentar limitaciones debido a la diversidad de especies presentes, que difieren en calidad nutricional y disponibilidad a lo largo del año, debido a cambios en las etapas fenológicas del forraje, así como en su palatabilidad, lo que hace que el animal seleccione primero aquellos con mejor sabor ([Lascano 2000](#); [Hussain y Jan 2009](#)). Por ello, a menudo es difícil relacionar las características del forraje con la cantidad consumida en pastoreo/ramoneo ([Lyons et al. 2001](#)).

Para la selección de especies leñosas destinadas a la alimentación animal es indispensable conocer su palatabilidad, es decir, el grado de atracción o aceptación por parte de los animales, lo cual se ha asociado con características organolépticas y propiedades nutricionales de las forrajerás ([Lascano 1984](#); [Lyons et al. 2001](#)). En ese sentido, se ha diferenciado el concepto de 'palatabilidad intrínseca', entendida como la

variabilidad sensorial asociada a las características del alimento, de la palatabilidad aprendida, entendida como la respuesta post-ingestión del alimento estandarizado en sus propiedades sensoriales, la experiencia previa de los forrajes y el estado metabólico de los animales ([Kissileff 1990](#)).

Con base en lo anterior, este estudio se asimila al concepto de 'palatabilidad aprendida'. Para ese propósito, las pruebas tipo 'Cafetería' se consideran opciones buenas, rápidas y económicas, pues a través de ellas se puede obtener respuestas de los animales en experimentos cortos de consumo, acompañados de determinación directa o indirecta de la calidad de los distintos forrajes ([Kenney y Black 1984](#); [Van Soest 1994](#)).

Otros parámetros que contribuyen a un mejor conocimiento de la palatabilidad, son los relacionados con el comportamiento ingestivo tales como la tasa de consumo relativo, el tiempo dedicado a consumir, el número y el tamaño de los bocados. Todo esto puede ayudar en el diseño de estrategias de alimentación basadas en la selectividad de los forrajes ([Hill et al. 2009](#); [Chacón 2011](#); [Chilibroste et al. 2015a](#)). También son relevantes las diferencias en el contenido de nutrientes y de compuestos químicos que podrían limitar la aceptación de las plantas por el animal, al incidir sobre variables sensoriales o provocar sensación de saciedad ([Lascano 1984](#); [Rosales Méndez 1999](#); [Provenza et al. 2007](#)).

El objetivo del presente estudio fue estimar la palatabilidad relativa, a través de indicadores de consumo, en un número amplio de especies leñosas propias del ecosistema Bosque Seco Tropical en Colombia, para descartar o seleccionar aquellas especies que amerita sean consideradas en investigaciones futuras.

Materiales y Métodos

Localización

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Nataima de Agrosavia, localizado en el municipio El Espinal, Colombia (4°12'N, 74°56' O); a una altitud de 391 m.s.n.m., ubicado en la zona de vida de Bosque Seco Tropical (bs-T) ([Holdridge 1978](#)). La precipitación media

anual en el área de estudio es de 1,400 mm, con una distribución bimodal, siendo los meses más secos enero, febrero y de julio a septiembre; y los más húmedos de marzo a junio y de octubre a diciembre. La diferencia en precipitación entre los meses secos y húmedos es de 180 mm ([ClimateData 2023](#)). Los suelos del área de estudio son de origen fluvio-volcánico, con textura franco-arenosa (>68 % de arena, 14 % de arcilla); son superficiales con capas compactadas, pobres en materia orgánica y con baja retención de humedad; con pH entre ácido y neutro, con alto contenido de potasio y un buen balance calcio:magnesio ([Castro 1996](#)).

Descripción de las especies

Las leñosas del estudio provienen de semillas colectadas de individuos maduros pertenecientes a 22 especies encontradas en potreros de las fincas ganaderas presentes en la zona donde se realizó el estudio. Estas fueron llevadas a una “Colección de Trabajo de Especies Leñosas Forrajeras” (sin llegar a ser accesiones), la cual fue establecida en el año 2014 en el Centro de Investigación Nataima. De ellas se seleccionaron las 20 con mayor presencia en fincas ganaderas de la región

donde se efectuó el estudio ([Pérez-Almario et al. 2021](#)), las mismas que pertenecen a nueve familias. La lista de especies seleccionadas se presenta en el Cuadro 1.

Cada especie contó con 228 individuos sembrados en tres filas, con distancias entre plantas y surcos de 1 × 1 m. Al momento de iniciar este experimento los árboles tenían una edad de cuatro años, contados desde su siembra en el sitio definitivo. En esas parcelas no se suministró riego ni fertilización exógena, simulando el manejo que le daría un productor.

Podas para homogenización del forraje

Basados en estudios previos sobre producción de rebrotos de las especies bajo estudio, se realizó una poda de uniformización de los árboles de la siguiente forma: 1) Los 228 árboles de cada especie se dividieron y se marcaron sistemáticamente en 19 grupos con 12 árboles cada uno. 2) Cada árbol se podó a una altura de 80 cm desde el suelo para facilitar la cosecha de los rebrotos; 3) Al día 45 después de la poda de uniformización, se iniciaron las homogenizaciones sistemáticas para cada grupo tomando el día 46 como el día uno para el grupo 1, el día 47 para el día dos del grupo 2 y así sucesivamente

Cuadro 1. Especies leñosas (19 arbóreas y una arbustiva), evaluadas en el estudio

Nombre común	Familia	Nombre científico y autoridad ¹	Forma de crecimiento
Iguá	Fabaceae	<i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dugand	Árbol
Bayo/Gallinazo	Fabaceae	<i>Albizia niopoides</i> (Bruce ex Benth.) Burkart	Árbol
Saman/Campano	Fabaceae	<i>Albizia saman</i> (Jacq.) Merr.	Árbol
Patevaca	Fabaceae	<i>Bauhinia variegata</i> L.	Árbol
Incienso	Burseraceae	<i>Bursera tomentosa</i> (Jacq.) Triana & Planch.	Árbol
Carbonero	Fabaceae	<i>Calliandra riparia</i> Pittier	Árbol
Bohío	Fabaceae	<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A. Howard	Árbol
Gomo/Uvito	Boraginaceae	<i>Cordia alba</i> (Jacq.) Roem. & Schult.	Árbol
Totumo	Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i> L.	Árbol
Orejero	Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Árbol
Cambulo/Gallito	Fabaceae	<i>Erythrina fusca</i> Lour.	Árbol
Melina	Lamiaceae	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Árbol
Matarratón	Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Árbol
Guácimo	Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Árbol
Gualanday	Bignoniaceae	<i>Jacaranda caucana</i> Pittier	Árbol
Leucaena	Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Árbol
Moringa	Moringaceae	<i>Moringa oleifera</i> Lam	Árbol
Ciruelo dulce	Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i> L.	Árbol
Jobo ácido	Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Árbol
Botón de oro	Asteraceae	<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray	Arbusto

¹Nomenclatura científica según The World Flora Online (www.worldfloraonline.org).

hasta llegar a homogenizar los árboles del grupo 19. Los 12 árboles de cada grupo garantizaron la disponibilidad de suficiente forraje para cada día; 4) Las cosechas de forraje para las pruebas de cafetería se realizaron en el mismo orden de homogenización sistemática, con miras a lograr características similares en cuanto a la edad y la calidad de los rebrotes.

Características generales de la prueba de cafetería

La metodología aplicada en este estudio fue descrita por Pérez-Almario (2011), pero se hicieron algunas modificaciones dada la naturaleza del estudio. Las modificaciones se relacionan con el número de especies utilizadas (20), la duración total del ensayo (19 días), la altura de suministro del forraje al animal (entre 80 y 100 cm), y el diámetro de las ramitas de forrajes cortadas y ofrecidas (diámetro <0.8 cm). Otra modificación de la prueba en la fase de evaluación fue el suministrar los forrajes a los animales en un brete, en lugar de un comedero.

Periodo de acostumbramiento animal

Previo al inicio de las mediciones, se tuvo un periodo de acostumbramiento de ocho días, para que los animales se acostumbraran al olor, sabor y textura de los distintos forrajes que aún no conocían, como parte del proceso conocido como 'palatabilidad aprendida' (Kissileff 1990), y acogiendo las recomendaciones metodológicas de Stewart (1999). Para ello se suministró cada mañana en comederos, por una sola vez y en forma simultánea, 5 kg de forraje fresco (rebrotes de 45 días de edad) de cada una de las especies.

Oferta de forraje en la prueba de cafetería

Las especies fueron ofrecidas a los animales por “pares o combinaciones de dos especies a la vez”. El número de pares de forrajes fue calculado usando el método de “Combinación Aleatoria sin Repetición”, con 20 especies arregladas en pares ($C_r^n = \binom{20}{2}$), lo cual resultó en 190 combinaciones por animal, para un total de 950 pares para los cinco animales. A los 190 pares se les asignó un

valor aleatorio entre 0 y 1 calculado en Excel, el cual fue ordenado de mayor a menor. Este orden descendente fue dividido en 19 grupos de 10 pares. Para la programación de las pruebas cortas¹, los 10 pares o combinaciones de forrajes se ofrecieron a cada uno de los animales desde el día 1 hasta el día 19 en el mismo orden descendente, sin repetir ninguna combinación. Este proceso fue replicado sistemáticamente en cada uno de los cinco animales utilizados para el estudio, es decir, se realizaron 50 pruebas cortas por día durante 19 días.

Cada prueba corta fue un evento de tres minutos de duración, en el cual se ofreció a los animales un par de especies, dispuestas por separado en atados de 1 kg de forraje verde por cada especie. Los atados se ubicaron a la salida del brete, frente del animal, a una altura entre 80 y 100 cm desde el suelo, según lo recomendado por Pérez-Almario (2011). El forraje utilizado para las pruebas de palatabilidad estuvo compuesto por hojas y puntas de las ramas con diámetro <0.8 cm, las cuales fueron cosechadas entre las 5:00 y 7:00 a.m. del mismo día de evaluación, para prevenir la deshidratación del forraje.

Características de los animales

Para la prueba de cafetería se usaron cinco bovinos (machos adultos) de la raza Blanco Orejinegro (BON), con pesos entre 400 y 420 kg. Cada día, los animales permanecieron en una pastura de *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania, que fue el forraje base de la dieta. De allí, cada día los animales fueron llevados a un corral con un brete (embudo/manga) diseñado para la entrada de un solo animal a la vez, y de esa manera facilitar el manejo de los tiempos antes y después de cada prueba corta.

Las combinaciones de forrajes que correspondían a cada día fueron aleatorizadas, lo mismo que los animales; y con base en ello se definió el orden de entrada de los animales, y el orden de oferta de los pares de especies. Dos personas ofrecieron las combinaciones de forrajes a los animales e hicieron el control de tiempo.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño con factores anidados (Montgomery 2004), en el cual los pares de forrajes se anidaron dentro

¹Prueba corta o evento, es la sección de la metodología donde se somete al consumo de los animales una combinación de dos especies. Esta prueba corta o evento, solo se realiza una única vez, con una duración máxima de tres minutos por cada par de forrajes. Allí se mide la palatabilidad relativa de forraje para cada especie. Durante esta misma prueba corta se hace el conteo de mordidas o bocados que hace el animal sobre cada especie.

de los animales. Si bien el modelo inicial usado para el análisis incluía interacciones, estas no se consideraron al momento de comparar medias de tratamientos porque no alcanzaron significancia ($p \leq 0.05$).

Variables medidas

En las muestras de forraje se determinó el contenido de materia seca (MS; %) por secado en horno de aire forzado hasta alcanzar peso constante; mientras que en las muestras secas y molidas se analizó los contenidos de proteína cruda (PC; %), fibra detergente neutro (FDN; %); fibra detergente ácido (FDA; %); extracto etéreo (EE; %), Calcio (Ca; %), Fosforo (P; %) taninos condensados (TC; %) y hemicelulosa (Hem; %), mediante el método de Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIRS) utilizado por el Laboratorio de Nutrición y Calidad de Forrajes de Agrosavia.

En las pruebas cortas con los animales, en períodos con una duración de tres minutos se determinó el consumo relativo del forraje (g MS); el número de bocados (por conteo de mordidas); el tamaño de bocado (g MS, estimado como el cociente entre forraje consumido y el número de bocados); y el tiempo efectivo de consumo (en segundos) medido por dos observadores que contaban con cronómetros deportivos. El diámetro de mordida (mm), fue medido en las cinco ramas más gruesas que fueron mordidas por los animales, para lo cual se utilizó un calibrador digital tipo 'pie de rey'. En cada prueba corta se estimó la cantidad de forraje consumido (g MS) por diferencia entre la oferta y lo desecharo (el material caído al piso se registró como desecharo).

Análisis de datos

Para el análisis de calidad nutricional de los forrajes se usó estadística descriptiva. Para el análisis de las variables de palatabilidad relativa se usaron modelos lineales generalizados y mixtos (MLGM). Las comparaciones de medias se efectuaron a través de la prueba DMS utilizando el nivel de significancia de $P > 0.05$. También se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) como método de agrupamiento descrito a través de una figura biplot, y por último se determinaron las

correlaciones de Spearman entre las variables de palatabilidad relativa y las de calidad nutricional. Para todos los análisis estadísticos se usó el Software InfoStat Versión Profesional ([Di Rienzo et al. 2020](#)).

Resultados

Calidad nutricional

Los resultados presentados aquí corresponden a una edad de 45 días de rebrote que fue aplicada a todos los forrajes evaluados. El contenido de MS de los diferentes forrajes varió del 16 al 37 %, siendo el valor más bajo para *T. diversifolia* y el más alto para *C. riparia*. Los contenidos de proteína cruda (PC) oscilaron en un rango de 12.4 a 23.2 %; los de Ca entre 0.3 y 1.6 %, P entre 0.1 y 0.4 % y los taninos condensados (TC) entre 1.4 y 6.7 %. Las especies con menor contenido de TC en orden ascendente fueron *A. niopoides*, *T. diversifolia*, *A. saman*, *A. guachapele*, *E. fusca* y *G. sepium*, con valores entre 1.2 y 1.8 %; en contraste, los valores más altos, en orden ascendente, fueron para *G. arborea*, *C. riparia*, *S. mombin*, *S. purpurea* y *B. tomentosa* con 4.3, 4.4, 5.5, 5.9 y 6.7 %, respectivamente. Las concentraciones de FDN variaron entre 34.4 y 42.5 %, y las de FDA entre 12.3 y 24.5 % (Cuadro 2).

Consumo relativo por especie

Las especies evaluadas mostraron diferencias ($P < 0.0001$) en el nivel de consumo. Las que mostraron los niveles más altos de consumo relativo fueron: *A. niopoides*, seguida por *L. leucocephala*, *G. sepium*, *E. fusca* y *G. ulmifolia*, con valores de 240, 216, 152, 149 y 145 g MS/prueba de tres minutos, respectivamente (Cuadro 3). *T. diversifolia* mostró un consumo alto en forraje verde, pero también un bajo contenido de MS, por lo que su consumo en materia seca fue bastante más bajo (77 g MS) que en las especies listadas previamente.

Con base en los niveles de consumo de materia seca observados en las pruebas de corta duración, se clasificaron las especies en función de su palatabilidad relativa. Las especies con niveles de consumo superiores a 150 g MS/tres minutos se consideran de palatabilidad

Cuadro 2. Contenido de materia seca y componentes químicos en el forraje de las veinte especies arbóreas evaluadas.

Especie	MS	Proteína	FDN	FDA	EE	Ca	P	TC	Hem
<i>Albizia guachapele</i>	31.3	21.9	40.3	16.8	3.5	0.8	0.2	1.6	20.7
<i>Albizia niopoides</i>	33.0	21.9	39.6	16.5	4.4	0.5	0.3	1.2	20.3
<i>Albizia saman</i>	30.0	20.9	40.0	15.2	4.0	0.4	0.2	1.4	20.4
<i>Bauhinia variegata</i>	32.8	14.4	42.5	17.4	3.7	0.9	0.2	3.5	18.2
<i>Bursera tomentosa</i>	33.2	15.8	37.7	21.4	2.4	1.0	0.2	6.7	20.7
<i>Calliandra riparia</i>	37.8	19.9	41.4	18.7	2.3	0.7	0.2	4.4	19.7
<i>Clitoria fairchildiana</i>	29.5	20.6	40.6	18.8	1.5	0.7	0.2	2.5	20.0
<i>Cordia alba</i>	23.8	19.6	39.0	18.8	1.8	1.6	0.3	3.4	21.7
<i>Crescentia cujete</i>	29.2	12.4	34.4	19.8	1.9	1.1	0.2	2.7	21.7
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	29.5	16.2	35.0	21.9	2.8	0.9	0.2	2.0	22.9
<i>Erythrina fusca</i>	23.1	18.5	36.4	15.8	1.9	0.8	0.3	1.7	18.1
<i>Gliricidia sepium</i>	20.3	21.2	40.8	13.2	2.5	0.9	0.2	1.8	20.1
<i>Gmelina arborea</i>	24.2	14.2	33.2	24.5	1.3	0.9	0.3	4.3	21.4
<i>Guazuma ulmifolia</i>	29.4	16.4	42.5	17.7	4.5	1.1	0.2	3.2	18.7
<i>Jacaranda caucana</i>	23.2	13.6	40.5	16.7	1.3	0.3	0.1	5.7	22.6
<i>Leucaena leucocephala</i>	26.5	23.2	39.4	16.2	2.1	0.9	0.2	3.2	17.2
<i>Moringa oleifera</i>	15.9	17.9	39.4	13.7	2.0	1.1	0.4	2.0	19.7
<i>Spondias mombin</i>	22.7	14.0	40.2	16.1	1.7	0.3	0.2	5.5	21.4
<i>Spondias purpurea</i>	27.6	16.3	39.5	14.4	1.8	1.4	0.2	5.9	19.4
<i>Tithonia diversifolia</i>	16.6	19.7	36.1	12.3	1.6	1.6	0.3	1.3	16.0

MS=Materia seca (%); Proteína=(%); FDN=Fibra en Detergente Neutro (%); FDA=Fibra en Detergente Acido (%); EE=Extracto Etéreo (%); Ca=Calcio (%); P=Fósforo (%); TC=Taninos Condensados (%); Hem=Hemicelulosa (%).

muy alta, y fue el caso de *A. niopoides*, *L. leucocephala* y *G. sepium*; aquellos con consumos entre 100 y 149 g MS, como sucedió con *E. fusca*, *G. ulmifolia*, *C. riparia*, *C. fairchildiana*, *S. purpurea* y *S. mombin*, se consideran de palatabilidad alta; los que mostraron niveles de consumo entre 60 y 99 g MS, como es el caso de *A. guachapele*, *T. diversifolia*, *C. alba*, *M. oleifera* y *C. cujete*, se califican como de palatabilidad media, y las especies con consumos menores a 60 g MS se consideran de palatabilidad baja (Cuadro 3).

Consumo de las especies ofrecidas en pares

Las combinaciones de los forrajes en pares mostraron diferencias ($P<0.0001$) en el nivel de consumo. En buena medida esto reflejó los resultados de consumo relativo observados para las especies individuales. Los pares de forrajes que mostraron los mayores consumos fueron: *A. niopoides* con *L. leucocephala*, seguida

por *A. niopoides* con *C. cujete*, y *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*. En este caso, los pares de especies con consumos superiores a 250 g MS/tres minutos, se consideran forrajes altamente apetecidos. Sin embargo, debe resaltarse que si bien *A. niopoides* presentó la mayor participación en las combinaciones con palatabilidad alta, es una especie nativa casi desconocida por técnicos y ganaderos (Cuadro 4).

Número de bocados

El número de bocados ingeridos por los bovinos difirió con las especies de forrajeras ($P<0.0001$). Las especies que mostraron un mayor número de bocados (Figura 1) fueron también las que presentaron el consumo relativo más alto. El ordenamiento de esas especies en forma descendente fue: *L. leucocephala*, *G. sepium*, *E. fusca*, *G. ulmifolia*, *A. niopoides*, *T. diversifolia* y *C. fairchildiana*.

Cuadro 3. Palatabilidad relativa, expresada como cantidad consumida (g MS) en tres minutos, para las veinte especies arbóreas evaluadas. (Media ± error estándar).

Orden	Especie	Palatabilidad relativa forraje consumido/animal/3 minutos (g MS)	Grado de palatabilidad relativa
1	<i>Albizia niopoides</i>	240.91 ± 8.76a	Muy alta
2	<i>Leucaena leucocephala</i>	216.79 ± 8.77b	Muy alta
3	<i>Gliricidia sepium</i>	152.47 ± 8.76c	Muy alta
4	<i>Erythrina fusca</i>	149.02 ± 8.75c	Alta
5	<i>Guazuma ulmifolia</i>	145.77 ± 8.76c	Alta
6	<i>Calliandra riparia</i>	127.86 ± 8.78d	Alta
7	<i>Clitoria fairchildiana</i>	123.1 ± 8.77de	Alta
8	<i>Spondias purpurea</i>	122.54 ± 8.74de	Alta
9	<i>Spondias mombin</i>	108.74 ± 8.79ef	Alta
10	<i>Albizia guachapele</i>	93.94 ± 8.76fg	Media
11	<i>Tithonia diversifolia</i>	77.39 ± 8.77gh	Media
12	<i>Cordia alba</i>	75.84 ± 8.79h	Media
13	<i>Moringa oleifera</i>	62.17 ± 8.77hi	Media
14	<i>Crescentia cujete</i>	62.09 ± 8.78hi	Media
15	<i>Bauhinia variegata</i>	56.98 ± 8.86ij	Baja
16	<i>Gmelina arborea</i>	47.98 ± 8.85ijk	Baja
17	<i>Jacaranda caucana</i>	41.92 ± 8.77jkl	Baja
18	<i>Bursera tomentosa</i>	37.43 ± 8.85kl	Baja
19	<i>Albizia saman</i>	28.23 ± 8.78l	Baja
20	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	10.67 ± 8.77m	Baja

Medias con una letra común no difieren ($P>0.05$).

Cuadro 4. Consumo de forraje para las 10 mejores combinaciones forrajeras (g MS/animal/prueba corta) en El Espinal, Colombia (Media ± error estándar).

Combinación	Consumo de forraje (g MS /animal/prueba)
<i>A. niopoides - L. leucocephala</i>	453.45 ± 32a
<i>A. niopoides - C. cujete</i>	378.55 ± 32b
<i>L. leucocephala - G. ulmifolia</i>	363.96 ± 32b
<i>S. mombin - A. niopoides</i>	343.24 ± 32b
<i>A. niopoides - A. guachapele</i>	341.25 ± 32b
<i>S. mombin - G. sepium</i>	332.13 ± 32b
<i>G. sepium - L. leucocephala</i>	331.73 ± 32b
<i>S. purpurea - A. niopoides</i>	325.5 ± 32b
<i>T. diversifolia - C. riparia</i>	322.61 ± 32b
<i>A. niopoides - C. fairchildiana</i>	319.05 ± 32b

^{a,b}Medias con una letra común no difieren estadísticamente ($P>0.05$).

Tamaño de bocado

En la Figura 2 se presenta el tamaño de bocado para las diferentes especies, parámetro que se obtuvo como el cociente entre el consumo de forraje dividido por el número de bocados. *A. guachapele* y *A. niopoides* fueron las especies que presentaron el mayor tamaño de bocado (12.0 y 10.56 g MS, respectivamente), y ellas difirieron ($P<0.0001$) entre sí. Sin embargo, cabe anotar que *A. guachapele* fue identificada como de palatabilidad media en función del nivel de consumo.

Tiempo dedicado a consumir

El tiempo dedicado por los animales a consumir un determinado forraje ofrecido como parte de las diferentes combinaciones evaluadas en un período de tres minutos (180 segundos), difirió en función de

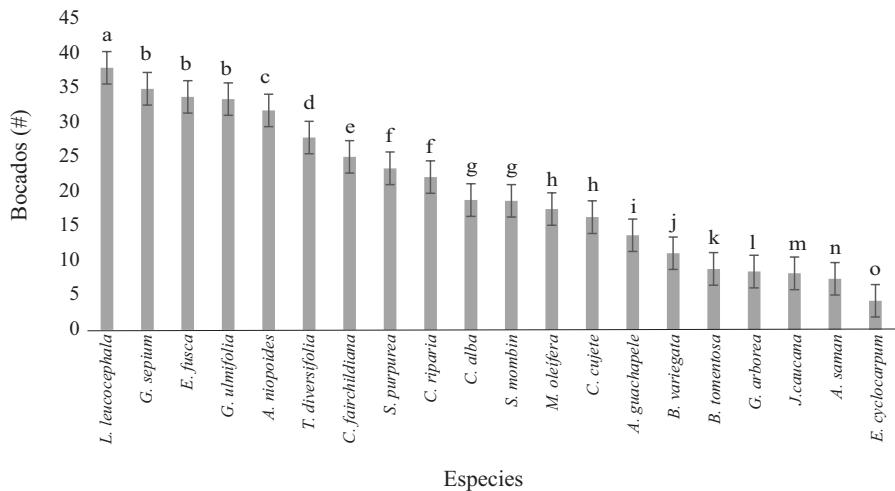


Figura 1. Número promedio de bocados hechos por los bovinos en las veinte especies evaluadas. Medias con una letra común no difieren significativamente ($P>0.05$).

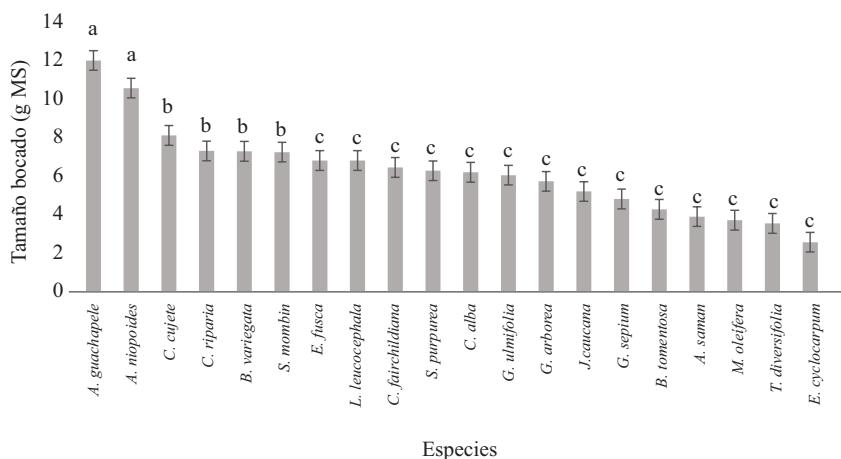


Figura 2. Tamaño del bocado para los forrajes de las veinte especies evaluadas en El Espinal, Colombia. Medias con una letra común no difieren significativamente ($P>0.05$).

las especies ($P<0.0001$). Las diez especies a las que los animales dedicaron mayor tiempo para consumir, fueron en orden descendente: *L. leucocephala*, *E. fusca*, *G. ulmifolia*, *A. niopoides*, *G. sepium*, *T. diversifolia*, *C. fairchildiana*, *S. purpurea*, *S. mombin* y *C. riparia*, con valores que oscilaron entre 131 y 72 segundos, dentro de los 180 segundos que duró cada prueba (Figura 3).

Diámetro de la rama mordida

El diámetro de la rama mordida difirió ($P<0,0001$) en función de las especies. El diámetro promedio de las ramas mordidas osciló entre 2.99 y 5.14 mm; los valores más altos correspondieron a *T. diversifolia*, *G. sepium* y *B. tomentosa*, las cuales registraron diámetros de mordida superiores a 5 mm (Figura 4).

Análisis de agrupamiento de las especies en función de las variables evaluadas

Las especies *A. niopoides*, *G. ulmifolia*, *L. leucocephala*, *C. riparia*, *C. fairchildiana* y *G. sepium* del cuadrante I, presentaron mayor similitud entre ellas tomando en cuenta variables tales como el consumo relativo, tiempo de consumo, número de bocados, y los contenidos de proteína, FDN, P y EE (Figura 5). Las especies *A. guachapele*, *A. saman*, *B. tomentosa*, *J. caucana* y *B. variegata* se agruparon por su similitud en los contenidos de TC en el cuadrante II; mientras que las especies *C. cujete*, *G. arborea* y *E. cyclocarpum* estuvieron más relacionadas entre ellas por presentar mayores contenidos de FDA en el cuadrante III; y las especies *S. purpurea*, *E. fusca*, *M. oleifera*, *C. alba* y

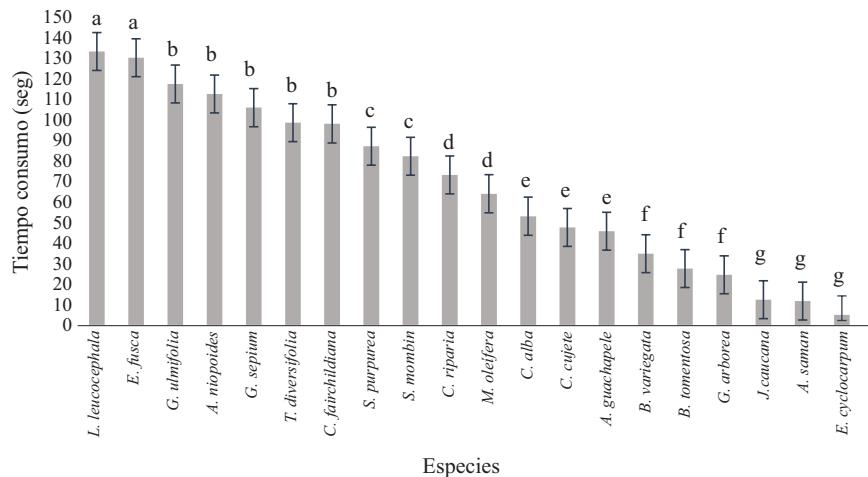


Figura 3. Tiempo dedicado a consumir forraje (segundos x prueba/tres minutos) para las 20 especies evaluadas en El Espinal, Colombia. [Medias con una letra común no difieren estadísticamente ($P>0.05$)].

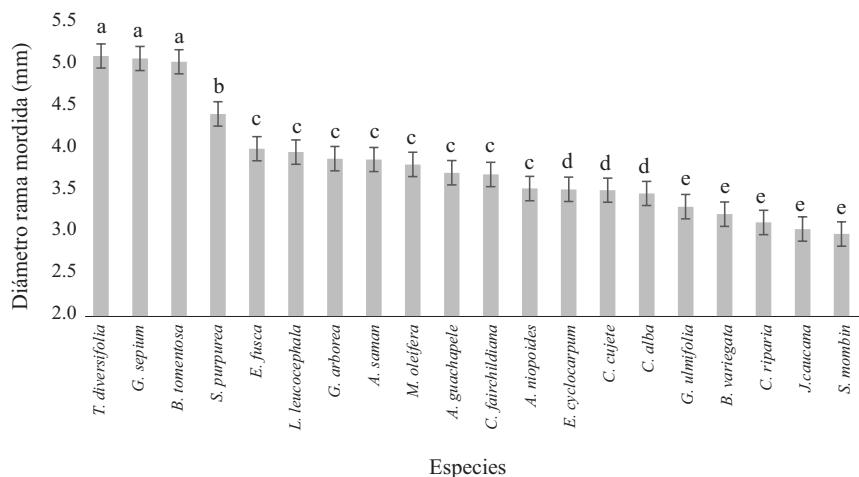


Figura 4. Diámetro de la rama mordida por los bovinos (mm) en las 20 especies evaluadas en El Espinal, Colombia. [Medias con una letra común no difieren estadísticamente ($P>0.05$)].

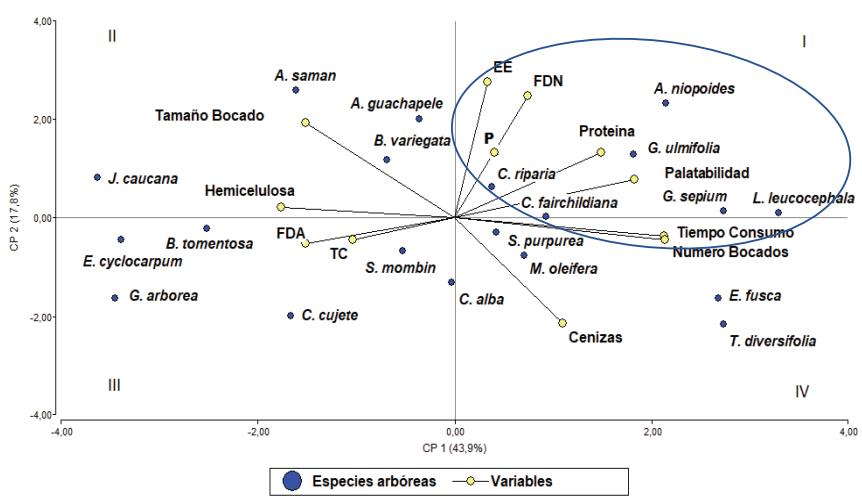


Figura 5. Agrupamiento de las 20 especies arbóreas usando indicadores de palatabilidad y calidad en El Espinal, Colombia.

T. diversifolia mostraron similitud por sus contenidos de Ca en el cuadrante IV.

Correlaciones entre variables químicas y la palatabilidad forrajera

El nivel de consumo, número de bocados, tiempo dedicado a consumir, y los contenidos de proteína, FDN, FDA, Ca y TC presentaron correlaciones positivas. Los coeficientes de correlación (*r*) entre el nivel de consumo con el tiempo dedicado a consumir, el número de bocados y el contenido de proteína fueron 0.94, 0.94 y 0.57, respectivamente. Los contenidos de proteína y Ca se correlacionaron de manera inversa con los TC (-0.62 y -0.45); al igual que el nivel consumo con el tamaño de los bocados (-0.42). Por otro lado, el tiempo dedicado a consumir presentó una correlación positiva alta con el número de bocados (0.98) y una relación inversa con el tamaño del bocado (-0.64); y el número y tamaño de los bocados presentaron una correlación negativa (-0.67) entre ellos (Cuadro 5).

Discusión

Muchos árboles y/o arbustos son fuentes forrajerfas de alta calidad nutricional que pueden ser integradas en sistemas de alimentación de bovinos. Esto se ve reflejado especialmente en los altos contenidos de proteína cruda (Cuadro 2), lo cual es un atributo importante de estos follajes, sobre todo para el período seco cuando las

gramíneas presentan niveles muy bajos de este nutriente, lo cual afecta negativamente la actividad ruminal, el consumo y la producción animal ([Ibrahim et al. 2007](#); [Pérez-Almario et al. 2012](#)). En términos generales, los contenidos de proteína y hemicelulosa fueron altos en todas las especies evaluadas, mientras que los de FDA fueron relativamente bajos, lo que se atribuye no solo a su condición de individuos jóvenes con apenas 45 días de rebrote, sino también porque la mayoría de las leñosas forrajerfas presentan ese tipo de patrón para el contenido de las fracciones fibrosas ([Pinto-Ruiz et al. 2010](#); [Cabello-Jiménez et al. 2015](#); [Cediel-Devia et al. 2020](#)).

Los valores altos de proteína cruda y fósforo encontrados para *A. saman*, *L. leucocephala*, y *A. niopoides* en este estudio, concuerdan con lo reportado por Pérez-Almario et al. ([2012](#)) para las mismas especies, en otro estudio desarrollado en Nicaragua. En dicho estudio esos componentes se relacionaron con el consumo relativo alto, por lo que se consideraron como posibles indicadores de una palatabilidad adecuada.

En cuanto a los contenidos de TC (Cuadro 2), catorce de las veinte especies evaluadas presentaron valores menores a 3.5 %, y varias de ellas mostraron palatabilidad relativa muy alta o alta, pero otras como *S. mombin* y *S. purpurea* que presentaron altos contenidos de TC (cercaos al 6 %), fueron clasificados como forrajes de palatabilidad relativa alta; en cambio, especies con un bajo contenido de TC como *A. saman* y *E. cyclocarpum*, presentaron niveles bajos de palatabilidad relativa en función del nivel de consumo observado en las pruebas cortas.

Cuadro 5. Correlaciones de Spearman entre las variables de palatabilidad y algunas variables químicas de los diferentes forrajes evaluados en El Espinal, Colombia.

	Tiem	Num	Tam	Proteína	FDN	FDA	Ca	EE	TC	
	Cons ¹	Cons	Boc							
Consumo	1									
TiemCons	0.94*	1								
NumBoc	0.94*	0.98*	1							
TamBoc	-0.42	-0.64*	-0.67*	1						
Proteína	0.57*	0.50*	0.54*	-0.16	1					
FDN	0.33	0.20	0.20	0.04	0.25	1				
FDA	-0.36	-0.44*	-0.45*	0.43*	-0.38	-0.20	1			
Ca	0.35	0.45*	0.50*	-0.55	0.18	-0.33	-0.22	1		
EE	0.12	0.06	0.05	0.14	0.40	0.36	-0.03	-0.03	1	
TC	-0.24	-0.24	-0.24	0.07	-0.62*	0.13	0.37	-0.45*	-0.37	1

¹Cons=Consumo relativo o Palatabilidad (g MS); TiemCons=Tiempo Consumo (seg); NúmBoc=Número Bocados (#); TamBoc=Tamaño Bocados (g MS); Proteína (%); FDN=Fibra Detergente Neutra (%); FDA=Fibra en Detergente Ácido (%); Ca=Calcio (%); EE=Extracto Etéreo (%); TC=Taninos Condensados (%).

*Correlaciones significativas (*P*>0.05).

Estos hallazgos parecieran contradecir reportes en los que se afirma que los altos contenidos de TC son una respuesta fisiológica de las plantas para protegerse contra los herbívoros ([Reddy y Elanchezhian 2008](#)), afectando la palatabilidad de las forrajerías ([Häring et al. 2008](#)). Es más, se ha señalado que concentraciones de TC mayores de 5.0 % afectan negativamente el consumo voluntario y el incremento de peso vivo ([Frutos et al. 2004](#)), y que, por el contrario, la provisión de forrajes que contienen pequeñas cantidades de TC (menores a 5.0 %) ayudan a mejorar la utilización del alimento por los rumiantes ([Min et al. 2003; Mueller-Harvey 2006; Jenko et al. 2018](#)). Lo cierto es que hay variabilidad en el contenido de TC en función de la edad de la planta, el método analítico utilizado, la consistencia de hojas y tallos comestibles ([Makkar 2003](#)) y en la composición química de los mismos taninos condensados ([Schofield et al. 2001](#)); pero, además debe mencionarse que hay muchos otros rasgos funcionales de las plantas que inciden sobre la palatabilidad ([Baumont et al. 2000; Cingolani et al. 2005](#)).

El contenido de materia seca (MS) del forraje es un componente muy variable, que depende de las características propias de cada especie ([Mora-Delgado et al. 2014](#)), pero también de las condiciones ambientales y de la edad de rebrote, entre otros factores. Por ejemplo, Pérez-Almario ([2011](#)) reportó valores de MS alrededor del 40 % en árboles adultos de *A. niopoides* y *E. fusca*, mientras que en este estudio las mismas especies mostraron valores de 33 y 23 %, respectivamente. En cambio, en el caso de *T. diversifolia* y *G. sepium*, tanto en este estudio como en otros ([Holguín-Castaño et al. 2015; García 2015](#)), se han reportado contenidos relativamente bajos de materia seca.

Debido a las variaciones en los contenidos de MS de los follajes, es que para este tipo de estudios se recomienda expresar el consumo relativo sobre la base de MS en lugar de forraje verde. Esto quedó evidenciado en el caso de *T. diversifolia* que se mostró como de alta palatabilidad con base en el consumo en fresco, pero pasó al grupo de forrajes de palatabilidad media por el nivel de consumo en base seca, producto de su bajo contenido de MS.

Los datos de palatabilidad relativa resultantes del análisis del nivel de consumo observado para las especies individuales (Cuadro 3) y en combinación con otras (Cuadro 4), permiten sugerir el potencial que tienen algunas especies para ser incluidas en los sistemas de alimentación, especialmente en regiones cálidas y secas como la del presente estudio. Entre esas especies están *A. niopoides*, *L. leucocephala*, *G. sepium*, *E. fusca*, *G. ulmifolia*, *T. diversifolia*, *C. riparia*, *C. fairchildiana*, *S. purpurea*, *S. mombin*, *A. guachapele* y *C. alba*. Sin

embargo, al afirmar esto debe recordarse que no toda la planta puede ser considerada como alimento para los animales, sino que estos ejercen primero selección a favor de las partes más gustosas y tiernas de la planta ([Lyons et al. 2001; Lloyd et al. 2010](#)).

El conocimiento de la palatabilidad de leñosas forrajerías es importante para decidir qué especies considerar en el diseño de un sistema de alimentación dado ([Rosales Méndez 1999](#)); sin embargo, no son muchas las referencias disponibles sobre el tema en América Tropical ([Jiménez-Ferrer et al. 2007; García et al. 2008; Velázquez-Vélez et al. 2009; Pérez-Almario et al. 2012](#)), pese a que algunos estudios de conocimiento local han identificado un buen número de leñosas potencialmente palatables ([Pérez-Almario et al. 2021](#)). Esto último fue justamente lo que motivó la realización del presente estudio. Algo similar ha sido observado en otras regiones del mundo ([Larbi et al. 2010; Quansah y Makkar 2012](#)).

El número de bocados (Figura 1) y tamaño del bocado (Figura 2) constituyen criterios importantes para valorar la palatabilidad de los forrajes ([Pérez-Almario et al. 2012](#)). Sin embargo, su interpretación requiere de un análisis cuidadoso, así: a) forrajes de leñosas que presentan un alto nivel de consumo en período corto y un alto número de bocados se considera poseen alta palatabilidad; b) si los bocados son pequeños, pero se da un alto número de bocados puede ser que la especie sea palatable, pero la distribución heterogénea de hojas comestibles sobre las ramas no permite que el animal consiga una buena cantidad de forraje en cada bocado, y por esa razón el animal trata de compensar esa limitante con un mayor número de bocados; y c) forrajes con un bajo número de bocados y poco tiempo dedicado a consumir (Figura 3) son indicativos que son poco palatables.

En cuanto al diámetro de la mordida (Figura 4), se ha sugerido que este es mayor si la especie es poco leñosa ([Pérez-Almario et al. 2012](#)). En el caso particular de este estudio prácticamente todos los follajes ofrecidos eran tiernos, dado que se trataba de rebrotos de 45 días, por lo que no habían llegado a la condición de material leñoso en el forraje ofrecido. Un aspecto que puede haber incidido para que una especie de palatabilidad media como *T. diversifolia* haya mostrado el valor más alto en el diámetro de mordida (5.3 mm), puede atribuirse al tamaño de sus hojas ([Pérez-Almario 2011](#)). Otro aspecto por tomar en cuenta en el análisis de palatabilidad relativa es que no necesariamente todas las especies identificadas como altamente palatables (Cuadro 3) mostraron el mayor diámetro de mordida (Figura 4), lo cual sugiere que hay otros factores

posiblemente morfológicos de las ramas y hojas que influyen sobre ese atributo.

Los análisis de agrupamiento (Figura 5) y correlaciones múltiples (Cuadro 5) sugieren que *A. niopoides*, *G. ulmifolia*, *L. leucocephala*, *C. riparia*, *C. fairchildiana* y *G. sepium* se perfilan como las especies más gustosas para los animales; lo cual ratifica el potencial de estas especies para ser incluidas en los sistemas de alimentación animal bajo condiciones similares a las del presente estudio. Por otro lado, *S. purpurea*, *E. fusca*, *M. oleifera*, *C. alba* y *T. diversifolia* comparten asociaciones de similitud con *A. guachapele*, *A. saman*, *B. tomentosa*, *J. caucana* y *B. variegata*, principalmente por sus contenidos de TC, lo cual parece ha limitado el consumo de estas (Barahona et al. 2003; Pereira et al. 2018) y ha resultado en que se clasifiquen mayormente como de palatabilidad media; mientras que *G. arborea* y *E. cyclocarpum* aparecen en el grupo de palatabilidad baja, aparentemente asociados con niveles altos de FDA, pero no se tiene bases en la literatura para afirmar que esa fracción sea responsable de ello.

En el presente estudio, al igual que en los de Sandoval-Castro et al. (2005), García et al. (2008) y Pinto-Ruiz et al. (2010), no se detectaron valores altos de correlación entre las variables asociadas al comportamiento ingestivo (nivel y tiempo de consumo, número y tamaño de bocados) con ninguna de las fracciones químicas analizadas (Cuadro 5), lo cual confirma que la palatabilidad es un atributo muy complejo y difícil de predecir, pues hay muchas variables que la afectan, más allá de los componentes químicos (Cooper et al. 1988; Owen-Smith 1993).

Conclusiones

De las 20 especies de árboles representativas del Bosque Seco Tropical evaluadas, al menos ocho (*A. niopoides*, *E. fusca*, *C. fairchildiana*, *A. guachapele*, *C. riparia*, *S. purpurea*, *S. mombin*, y *C. alba*) tienen una palatabilidad relativa alta o muy alta y características nutricionales aceptables, que las facultan para ser incorporadas en los sistemas de alimentación de bovinos, pero algunas de ellas han sido poco estudiadas y valoradas por los investigadores y técnicos de campo. Las ocho especies mencionadas, sumadas a otras especies de uso frecuente, tales como *L. leucocephala*, *M. oleifera*, *G. ulmifolia*, *G. sepium* y *T. diversifolia*, aumentan la diversidad de leñosas forrajeras disponibles para uso como alimento en estos ecosistemas.

Para la valoración relativa de follajes de especies leñosas en función de su palatabilidad, es posible utilizar pruebas de cafetería de muy corta duración, como las

utilizadas en este estudio, y con base en ellas definir rangos de palatabilidad relativa en función del nivel de consumo. En el caso del presente estudio, con pruebas cortas de solo tres minutos de exposición de los animales a los forrajes, estos se clasificaron como de palatabilidad muy alta (>150 g MS), alta (100–149 g MS), media (60–99 g MS) y baja (<60 g MS).

Recomendaciones

En etapas preliminares de selección de leñosas con potencial forrajero, cuando se tienen muchas especies como candidatas, puede resultar de gran ayuda en la determinación de la palatabilidad relativa, el uso de pruebas de cafetería de muy corta duración (3 minutos de exposición al follaje) como las utilizadas en este estudio.

Algunas especies del Bosque Seco Tropical identificadas como promisorias por su palatabilidad alta, tales como *Albizia niopoides*, *Spondias purpurea* y *S. mombin*, han sido poco estudiadas por los investigadores. Para su eventual incorporación en sistemas de alimentación animal es necesario evaluar su potencial de producción de biomasa en bancos forrajeros u otros arreglos silvopastoriles, y posteriormente su efecto sobre producción animal cuando se integran como parte de la ración.

Agradecimientos

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, por apoyar esta investigación en el Marco de la Agenda de Investigación 2015–2017. Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR de Colombia, a la Unidad de Bioestadística del CATIE en Costa Rica y a la Universidad del Tolima en Colombia por sus sugerencias y apoyo en la realización de la presente investigación.

Referencias

- (Nota de los editores: Enlaces verificados el 17 de mayo de 2023).
- Barahona R, Lascano CE, Narvaez N, Owen E, Morris P, Theodorou MK. 2003. In vitro degradability of mature and immature leaves of tropical forage legumes differing in condensed tannin and non-starch polysaccharide content and composition. Journal of the Science of Food and Agriculture 83(12):1256–1266. doi: [10.1002/jsfa.1534](https://doi.org/10.1002/jsfa.1534)
- Baumont R; Prache S; Meuret M; Morand-Fehr P. 2000. How forage characteristics influence behavior and intake in small ruminants: a review. Livestock Production Science 64(1): 15–28. doi: [10.1016/S0301-6226\(00\)00172-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00172-X)

- Cab-Jiménez FE; Ortega-Cerrilla ME; Quero-Carrillo AR; Enríquez-Quiroz JF; Vaquera-Huerta H; Carranco-Jáuregui ME. 2015. Composición química y digestibilidad de algunos árboles tropicales forrajeros de Campeche, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Especial (11):2199–2204. doi: [10.29312/remexca.v0i11.798](https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.798)
- Castro HE. 1996. Bases técnicas para el conocimiento y manejo de los suelos del Valle Cálido del Alto Magdalena. Regional 6. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, Colombia. 107 p. [handle.net/20.500.12324/12782](https://hdl.handle.net/20.500.12324/12782)
- Cediel-Deria D; Sandoval-Lozano E; Castañeda-Serrano R. 2020. Effects of different regrowth ages and cutting heights on biomass production, bromatological composition and in vitro digestibility of *Guazuma ulmifolia* foliage. Agroforestry Systems 94(4): 1199–1208. doi: [10.1007/s10457-019-00354-y](https://doi.org/10.1007/s10457-019-00354-y)
- Chacón E. 2011. Comportamiento ingestivo del vacuno a pastoreo. Mundo Pecuario. 7(3): 130–144. bit.ly/3WvTxip
- Chilibroste P; Gibb MJ; Soca P; Mattiauda DA. 2015. Behavioral adaptation of grazing dairy cows to changes in feeding management: Do they follow a predictable pattern? Animal Production Science 55(3):328–338. doi: [10.1071/AN14484](https://doi.org/10.1071/AN14484)
- Cingolani AM; Posse G; Collantes MB. 2005. Plant functional traits, herbivore selectivity and response to sheep grazing in Patagonian steppe grasslands. Journal of Applied Ecology 42(1):50–59. doi: [10.1111/j.1365-2664.2004.00978.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00978.x)
- ClimateData. 2023. Clima Espinal (Colombia). [\(Consultado el 21 de abril 2023\).](https://bit.ly/45slzPF)
- Cooper SM; Owen-Smith N; Bryant JP. 1988. Foliage acceptability to browsing ruminants in relation to seasonal changes in the leaf chemistry of woody plants in a South African savanna. Oecologia 75(3):336–342. doi: [10.1007/BF00376934](https://doi.org/10.1007/BF00376934)
- Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini M; Gonzalez L; Tablada M; Robledo CW. 2018. Software estadístico Infostat. Argentina. www.infostat.com.ar
- Frutos P; Hervás G; Giráldez FJ; Mantecón AR. 2004. Review: Tannins and ruminant nutrition. Spanish Journal of Agricultural Research 2(2):191–202. doi: [10.5424/sjar/2004022-73](https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-73)
- García II. 2015. Origen, bondades y usos de *Moringa oleífera* Lam: una revisión sistemática. En: Holguín VA, García II, Mora-Delgado J, eds. Árboles y arbustos para silvopasturas. Uso, calidad y alometría. Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima. p. 43–68. bit.ly/41IIraA
- García DE; Medina MG; Cova LJ; Torres A; Soca M; Pizzani P; Baldizán A; Domínguez CE. 2008. Preferencia de vacunos por el follaje de doce especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el Estado Trujillo, Venezuela. Pastos y Forrajes. 31(3): 255–270. bit.ly/42JrQES
- Häring DA; Scharenberg A; Heckendorf F; Dohme F; Lüscher A; Maurer V; Suter D; Hertzberg H. 2008. Tanniferous forage plants: agronomic performance, palatability and efficacy against parasitic nematodes in sheep. Renewable Agriculture and Food Systems 23(1):19–29. doi: [10.1017/S1742170507002049](https://doi.org/10.1017/S1742170507002049)
- Hussain F; Jan DM. 2009. Seasonal availability, palatability and animal preferences of forage plants in Harboi arid range land, Kalat, Pakistan. Pakistan Journal of Botany 41(2):539–554. bit.ly/3oaRDqB
- Hill J; Chapman DF; Cosgrove GP; Parsons AJ. 2009. Do ruminants alter their preference for pasture species in response to the synchronization of delivery and release of nutrients? Rangeland Ecology and Management 62(5):418–427. doi: [10.2111/08-084.1](https://doi.org/10.2111/08-084.1)
- Holdridge LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), San José, Costa Rica. 216 p. [handle.net/11324/7936](https://hdl.handle.net/11324/7936)
- Holguín-Castaño VA; Ortiz-Grisales S; Velasco-Navia A; Mora-Delgado JR. 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en Candelaria, Valle del Cauca. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia 62(2):57–72. doi: [10.15446/rfmvz.v62n2.51995](https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n2.51995)
- Ibrahim M; Villanueva C; Casasola F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 15 (Supl. 1):74–88. [handle.net/1807/53069](https://hdl.handle.net/1807/53069)
- Jenko C; Bonato P; Fabre R; Perlo F; Tisocco O; Teira G. 2018. Adición de taninos a dietas de rumiantes y su efecto sobre la calidad y rendimiento de la carne. Ciencia, Docencia y Tecnología 29(56):224–241. bit.ly/3ogTxpu
- Jiménez-Ferrer JG; Pérez-López H; Soto-Pinto L; Nahed-Toral J; Hernández-López L; Carmona J. 2007. Livestock, nutritive value and local knowledge of fodder trees in fragment landscapes in Chiapas, Mexico. Interciencia 32(4):274–280. bit.ly/3Mfp4Ao
- Kenney PA; Black JL. 1984. Factors affecting diet selection by sheep. 1. Potential intake rate and acceptability of feed. Australian Journal of Agricultural Research 35(4):551–563. doi: [10.1071/AR9840551](https://doi.org/10.1071/AR9840551)
- Kissileff HR. 1990. Some suggestions on dealing with palatability–Response to Ramirez. Appetite 14(3):162–166. doi: [10.1016/0195-6663\(90\)90082-J](https://doi.org/10.1016/0195-6663(90)90082-J)
- Harbi A; Khatib-Salkin A; Jammal B; Hassan S. 2011. Seed and forage yield, and forage quality determinants of nine legume shrubs in a non-tropical dryland environment. Animal Feed Science and Technology 163(2–4):214–221. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2010.11.006](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.11.006)
- Lascano CE. 1984. Medición de la palatabilidad en forrajes. Colección histórica Seminarios internos. CIAT, Colombia. bit.ly/3MO3c0h
- Lascano CE. 2000. Selective grazing on grass-legume mixtures in tropical pastures. In: Lemaire G, Hodgson J, Moraes A de, Nabinger C, Carvalho PCF, eds. Grassland

- ecophysiology and grazing ecology. Wallingford UK: CABI Publishing. p. 249–263. bit.ly/433Os2Y
- Lyons RK; Machen R; Forbes TDA. 2001. Entendiendo el consumo de forraje de los animales en pastizales. AgriLife Extension. Texas A&M. E-100S. handle/1969.1/87064
- Lloyd KM; Pollock ML; Mason NWH; Lee WG. 2010. Leaf trait-palatability relationships differ between ungulate species: evidence from cafeteria experiments using naïve tussock grasses. *New Zealand Journal of Ecology* 34(2):219–226. www.jstor.org/stable/24060644
- Makkar HPS. 2003. Quantification of tannins in tree and shrub foliage. A laboratory manual. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 102 p. doi: [10.1007/978-94-017-0273-7](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0273-7)
- Min BR; Barry TN; Attwood GT; McNabb WC. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology* 106(1–4):3–19. doi: [10.1016/S0377-8401\(03\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00041-5)
- Montgomery DC. 2004. Diseño y análisis de experimentos. Limusa Wiley, 2da edición. Versión traducida al español. 689 p. ISBN 968-18-6156-6.
- Mora-Delgado J; Castañeda R; Piñeros R. 2014. Paisajes, pasturas y pastos: métodos para determinar cantidad y calidad. 1^a Ed. Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima. 120 p. handle/001/3245
- Mueller-Harvey I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(13):2010–2037. doi: [10.1002/jsfa.2577](https://doi.org/10.1002/jsfa.2577)
- Owen-Smith N. 1993. Woody plants, browsers and tannins in southern African savannas. *South African Journal of Science* 89(10): 505–510. bit.ly/3oA1Tzv
- Pereira TP; Modesto EC; Nepomuceno DD; Oliveira OF de; Freitas RSX de; Muir JP; Dubeux Junior JCB; Almeida JCC. 2018. Characterization and biological activity of condensed tannins from tropical forage legumes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 53(9):1070–1077. doi: [10.1590/S0100-204X2018000900011](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900011)
- Pérez-Almario N; Medina-Ríos EL; Mora-Delgado J; Criollo-Cruz D y Mejía JR. 2021. Criterios de uso y conservación de árboles en potreros basados en el conocimiento local de los ganaderos en una zona de bosque seco tropical en Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 9(3):321–336. doi: [10.17138/tgft\(9\)321-336](https://doi.org/10.17138/tgft(9)321-336)
- Pérez-Almario N; Ospina SD; Mora JR; Criollo-Cruz D. y Medina EL. 2017. Atributos funcionales a considerar en la selección de especies leñosas para el diseño de sistemas silvopastoriles en zonas secas. En: Chará J, Peri P, Rivera J, Murgueitio E, Castaño K, eds. IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles Sistemas Silvopastoriles: Aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. CIPAV. p. 14–21.
- Pérez-Almario N; Ibrahim M; Villanueva C; Skarpe C; Guerin H. 2012. Uso de la diversidad forrajera tropical en combinaciones pareadas de leñosas forrajerias como indicador de preferencia para su inclusión en el diseño de sistemas silvopastoriles en zonas secas. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 13(1):79–88. doi: [10.21930/rcta.vol13_num1_art:243](https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num1_art:243)
- Pérez-Almario N. 2011. Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas, Nicaragua. Mag. Sc Tesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica, p. 126. handle/11554/11027
- Pezo D. 2009. Los pastizales seminaturales de América Central: un recurso forrajero poco estudiado. *Agroforestería en las Américas* 47:4–5. handle/11554/6513
- Pinto-Ruiz R; Hernández D; Gómez H; Cobos MA; Quiroga R; Pezo D. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México. Usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia* 26(1):19–31. bit.ly/3OuWIoq
- Provenza FD; Villalba JJ; Haskell J; Macadam JW; Griggs TC; Wiedmeier RD. 2007. The value to herbivores of plant physical and chemical diversity in time and space. *Crop Science* 47(1):382–398. doi: [10.2135/cropsci2006.02.0083](https://doi.org/10.2135/cropsci2006.02.0083)
- Quansah ES; Makkar HPS. 2012. Use of lesser-known plants and plant parts as animal feed resources in tropical regions. FAO Animal Production and Health, Working Paper No. 8. Rome. ISSN 2221-8793. bit.ly/45vc6Hh
- Reddy DV; Elanchezhian V. 2008. Evaluation of tropical tree leaves as ruminant feedstuff based on cell contents, cell wall fractions and polyphenolic compounds. *Livestock Research for Rural Development*. 20(5):77. bit.ly/3ooT7O7
- Rosales Méndez M. 1999. Mezclas de forrajes: Uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales. En: Sánchez MD; Rosales Méndez M (eds). Memorias de una conferencia electrónica sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Estudio FAO producción y sanidad animal. Fundación CIPAV y FAO, Roma, Italia 143:201–230. bit.ly/3kifous
- Sandoval-Castro CA; Lizarraga-Sánchez HL; Solorio-Sánchez FJ. 2005. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, in vitro gas production and in situ degradability. *Animal Feed Science and Technology* 123–124(Part 1):277–289. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2005.04.057](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.057)
- Schofield P; Mbugua DM; Pell AN. 2001. Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology* 91(1–2):21–40. doi: [10.1016/S0377-8401\(01\)00228-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00228-0)
- Stewart JL. 1999. Variación genética en árboles forrajeros. En: Sánchez MD; Rosales Méndez M (eds). Memorias de una conferencia electrónica sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Estudio FAO producción y sanidad animal. Fundación CIPAV y FAO, Roma, Italia 143:327–349. bit.ly/3kifous
- Vásquez F; Mora-Delgado J; Aguilar M. 2014. Saber popular de especies forrajeras en la zona central de nicaragua: un estudio en grupos focales. *Revista de Ciencias Agrícolas* 31(1):27–41. doi: [10.22267/rcia.143101.43](https://doi.org/10.22267/rcia.143101.43)

Van Soest P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2a edition. Cornell University Press, Cornell, USA. 476 p.
Velázquez-Vélez R; Pezo D; Skarpe C. Ibrahim M; Mora-Delgado J; Benjamin T. 2009. Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas seminaturales en Muy Muy, Nicaragua. Agroforestería en las Américas 47:51–60. [handle/11554/6804](https://hdl.handle.net/11554/6804)

Villanueva C; Ibrahim M; Casasola F; Ríos N; Sepúlveda C. 2009. Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. En: Buenas prácticas agrícolas para la adaptación al cambio climático. Informe técnico CATIE No. 377. CATIE, Turrialba, Costa Rica. p. 103–125. [handle/11554/10149](https://hdl.handle.net/11554/10149)

(Recibido para publicación 01 de abril 2022 aceptado 19 de mayo 2023; publicado 31 de mayo 2023)

© 2023



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales es una revista de acceso abierto publicada por el *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, en asociación con el *Instituto de Recursos Genéticos de Cultivos Tropicales de la Academia China de Ciencias Agrícolas Tropicales (TCGRI-CATAS)*. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Artículo científico

Comportamiento productivo y química sanguínea en pollitas de reemplazo de ponedoras White Leghorn alimentadas con harina de forraje de *Tithonia diversifolia*

Productive behavior and blood chemistry in replacement pullets of White Leghorn layers fed Tithonia diversifolia forage meal

YSNAGMY VAZQUEZ PEDROSO¹, BÁRBARA RODRÍGUEZ SÁNCHEZ¹, LOURDES LUCILA SAVÓN VALDÉS¹ Y TOMÀS ELÍAS RUÍZ VÁZQUEZ²

¹Departamento Monogástricos, Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba. ica.edu.cu

²Departamento Pastos y Forrajes, Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba. ica.edu.cu

Resumen

La harina de forraje de *Tithonia diversifolia* constituye una alternativa práctica para la sustitución de alimentos convencionales en dietas para aves, dadas sus características nutricionales. Sin embargo, las investigaciones sobre el uso de esta planta en alimentación de aves aún son escasas, por lo que persiste la necesidad de continuar los estudios y en especial, en el caso de pollitas de reemplazo, categoría avícola poco investigada. El presente estudio evaluó el efecto de la harina de forraje de tithonia (ecotipo 10) en el comportamiento productivo y química sanguínea de pollitas de reemplazo de ponedoras White Leghorn L-33, de 1 a 18 semanas de edad. Se utilizaron 840 aves con peso vivo promedio inicial de 70 ± 10 g. Los tratamientos experimentales consistieron en una dieta control (maíz-soya) y la inclusión de 10, 15 y 20 % de harina de forraje de *Tithonia diversifolia*, con siete repeticiones (jaulas) cada uno y cada jaula con 30 pollitas como unidad experimental. De 7 a 63 d de edad las aves alimentadas con tithonia tuvieron un comportamiento productivo similar al control. En aves de 64 a 126 días se detectó mayor uniformidad en los lotes con el 20 % de inclusión de harina de tithonia. No se observaron diferencias entre tratamientos para la concentración de proteínas totales, albúmina y globulinas en sangre. Se concluyó que la inclusión de harina de tithonia del ecotipo 10 hasta en un 20 % de la dieta no afecta el comportamiento productivo ni la salud de pollitas de reemplazo de ponedoras White Leghorn entre 1 y 18 semanas de edad.

Palabras clave: alimentos alternativos, aves, forrajes arbóreos, ganancia de peso, proteínas sanguíneas.

Abstract

Tithonia diversifolia foliage meal constitutes a practical alternative for the substitution of conventional feeds in poultry diets, due to its nutritional characteristics. There is limited information on the use of this feed in poultry diets, particularly in the case of replacements for laying hens. In the present study the effect of tithonia (ecotype 10) forage meal on the productive behavior and serum components in replacements of White Leghorn L-33 layers were evaluated. A total of 840 chicken, from 7–126 d of age, with an average initial live weight of 70 ± 10 g were used. The experimental treatments consisted of a control diet (corn-soybean) and the inclusion of 10, 15 and 20 % of *Tithonia diversifolia* forage meal, with 7 replicates (cages) each with 30 birds in a cage as the experimental unit. No differences ($P>0.05$) between tithonia levels and the control diet were detected. The batch uniformity was higher with 20 % tithonia in the diet, for birds of 64–126 d of age. The inclusion of the tithonia (ecotype 10) foliage meal did not affect the concentration of total proteins, albumin and globulins in chicken serum. The results obtained suggest that using up to 20 % of tithonia

Correspondencia: Ysnagmy Vázquez Pedroso, Departamento Monogástricos, Instituto de Ciencia Animal. Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. ysnagmy@ica.edu.cu

(ecotype 10) meal in the diet of White Leghorn laying hen replacements, between 1 and 18 weeks of age, does not affect the productive performance and health condition of the chicken.

Keywords: alternative feeds, live-weight gain, poultry, serum proteins, woody perennial foliages.

Introducción

En los últimos años, la búsqueda de alimentos alternativos no convencionales para la producción de monogástricos, basados en la utilización de productos fibrosos resultantes de la utilización de los recursos naturales disponibles, constituye una estrategia de alimentación importante ([Rodríguez et al. 2018](#)). Esto supone encontrar fuentes de proteína de fácil adquisición, capaces de cubrir las necesidades nutritivas de las especies no rumiantes y que, a su vez, tengan bajo costo y puedan contribuir a mantener tasas de crecimiento satisfactorias ([Méndez-Martínez et al. 2019](#)).

En ese contexto, se ha generado gran interés en la utilización del forraje de diversas leñosas, como es el caso de *Tithonia diversifolia*. Esta planta se caracteriza por su alta disponibilidad en el trópico y excelente valor nutritivo, dado su alto contenido de proteína y minerales, alta digestibilidad de la materia seca, presencia de aceites tanto en hojas como en flores, y un contenido de azúcares totales del 39.8 %. ([Mahecha y Rosales 2005](#); [González-Castillo et al. 2014](#)).

En la producción avícola, la utilización de la harina de forraje de tithonia como sustituto parcial de las harinas de soya y maíz, ha funcionado con éxito en dietas para pollos de engorde a niveles del 5 al 15 % ([Buragohain y Rajkhowa 2019](#); [Roa et al. 2020](#); [Rodríguez et al. 2020](#)); y entre 10 y 15 % en dietas para gallinas ponedoras ([Rodríguez et al. 2018](#); [Fuente-Martínez et al. 2019](#); [Carranco-Jáuregui et al. 2020](#)).

Los estudios de Ruiz et al. ([2010](#), [2017](#), [2021](#)) han mostrado los avances logrados en Cuba en la evaluación de diferentes forrajes de *T. diversifolia* colectados en todo el país. De estos, el ecotipo 10 presentó las características agronómicas y nutricionales adecuadas para su empleo en la alimentación de pollos, gallinas ponedoras y cerdos ([Savón et al. 2008](#); [Rodríguez et al. 2018](#); [Savón et al. 2022](#)); en cambio, el empleo de este ecotipo en dietas para pollitas de reemplazo aún es incipiente y existe poca información al respecto. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de harina de *T. diversifolia* ecotipo 10 en dietas de pollitas de reemplazo de ponedoras White Leghorn L-33, entre una y 18 semanas de edad, sobre el comportamiento productivo y la química sanguínea de esas aves.

Materiales y Métodos

Se trabajó con forraje de *Tithonia diversifolia* ecotipo 10, la cual se había establecido en la Unidad Experimental de Pastos y Forrajes “Miguel Sistach Naya” del ICA, sobre un suelo ferralítico rojo ([Hernández-Jiménez et al. 2019](#)). El proceso de cosecha del forraje y elaboración de la harina se realizó tal como ha sido descrito por Savón et al. ([2022](#)).

Animales y dietas experimentales

El trabajo se desarrolló en la Unidad Experimental Avícola del Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba. Se utilizaron 840 pollitas de reemplazo de gallinas ponedoras White Leghorn L-33, de 1 a 18 semanas de edad, con peso vivo promedio inicial de 70 ± 10 g. Los animales se alojaron en jaulas metálicas de 1 m^2 , a razón de 30 aves por jaula. Todos los animales se sometieron a condiciones similares de manejo y alimentación, con suministro de agua y alimento *ad libitum*.

Los animales recibieron 24 h de iluminación artificial durante la primera semana de vida y a partir de la segunda hasta las 18 semanas de vida, las pollitas fueron sometidas a un régimen de luz de 14 horas totales diarias (luz natural más luz artificial). Todos los animales se vacunaron contra la enfermedad de Marek, bronquitis infecciosa, viruela aviar, Gumboro y Newcastle, según el esquema de vacunación establecido para esta categoría.

Las aves se distribuyeron aleatoriamente en cuatro tratamientos: una dieta control (maíz-soya) y la inclusión de 10, 15 y 20 % de harina de forraje de tithonia como reemplazo de la mezcla maíz-soya; se tuvo 7 repeticiones (jaulas) por tratamiento, y la unidad experimental fue cada jaula con 30 pollitas. Las dietas se elaboraron semanalmente y se formularon isoprotéticas e isoenergéticas según las recomendaciones nutricionales citadas en la guía elaborada por Rostagno et al. ([2017](#)). La formulación de las dietas utilizadas en los períodos de crecimiento 7–28, 29–63 y 64–126 días se presenta en el Cuadro 1. Estas dietas habían sido utilizadas en un estudio desarrollado por Vázquez et al. ([2021](#)).

Previo a la formulación de las dietas, se realizó análisis químico de la harina de forraje de tithonia según AOAC International ([2019](#)). El contenido de materia

seca de la harina fue de 88.6 %, y los contenidos en base seca para proteína cruda, fibra cruda, calcio y cenizas fueron: 19.0, 15.0, 2.33 y 16.8 %, respectivamente. El fósforo disponible (0.18 %) se estimó al considerar que las aves jóvenes utilizan el 30 % del fósforo total ([Scott et al. 1976](#)). El contenido de energía metabolizable de la harina de forraje de *Tithonia* se estimó era de 6.98 MJ de EM/kg, según Rodríguez et al. ([2020](#)), y fue este valor que se utilizó para la formulación de las dietas.

Evaluación del comportamiento productivo

Todos los indicadores del comportamiento productivo se determinaron en los períodos de 7 a 28; 29 a 63 y 64 a 126 días de edad. Se controló el consumo de alimento semanal por el método de oferta y rechazo, el peso vivo

en una balanza técnica (SARTORIUS, Alemania) con precisión ± 0.10 g y la mortalidad diaria por conteo. A partir de estos datos se estimó la conversión alimenticia, ganancia de peso, estándar del peso vivo (según el patrón de crecimiento de aves en Cuba) y viabilidad. A los 63 y 126 d de edad se seleccionaron al azar 11 aves por jaula para obtener el peso vivo individual y determinar la uniformidad del lote.

Indicadores de química sanguínea

Al final del período experimental (126 d de edad) se seleccionaron al azar 10 animales por tratamiento, a los cuales se les tomó muestras de sangre a través de punción de la vena braquial ([Marques et al. 2017](#)), previo ayuno de alimento por ocho horas. El

Cuadro 1. Composición de las dietas para los reemplazos de ponedoras en la etapa 7 a 126 días, con diferentes niveles de inclusión de harina de forraje de *Tithonia diversifolia* (ecotipo 10).

Materias primas usadas en los concentrados y aporte de nutrientes	Harina de forraje de <i>tithonia</i> (%)											
	7 a 28 días				29 a 63 días				64 a 126 días			
Harina de maíz	56.29	45.99	42.00	36.49	56.26	50.38	50.48	45.40	70.00	62.50	58.00	55.00
Harina de soya (44 % PB)	37.50	35.14	32.94	32.00	30.00	27.00	26.50	25.25	21.50	18.00	16.70	14.80
Salvado de trigo (14.5 % PB)	-	-	-	-	8.00	5.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Harina de forraje de <i>Tithonia</i> (19 % PB)	0.00	10.00	15.00	20.00	0.00	10.00	15.00	20.00	0.00	10.00	15.00	20.00
Zeolita	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	3.00	3.00	2.50
Aceite vegetal	2.00	4.75	6.10	7.50	1.20	3.60	4.20	5.76	0.00	1.40	2.60	3.00
Fosfato monocálcico	1.71	1.67	1.65	1.63	1.85	1.75	1.80	1.80	1.50	1.50	1.50	1.50
Carbonato de calcio	1.49	1.40	1.05	0.90	1.75	1.25	1.00	0.75	2.30	1.90	1.55	1.55
Sal común	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
DL metionina	0.18	0.22	0.28	0.35	0.11	0.14	0.14	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
Lisina	0.05	0.05	0.20	0.35	0.05	0.10	0.10	0.10	0.07	0.07	0.02	0.02
Colina	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Premezcla vitaminas y minerales*	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Contenido Estimado de Nutrientes												
Proteína bruta, %	21.0	21.0	21.00	21.00	18.5	18.5	18.5	18.5	14.5	14.5	14.5	14.5
Energía metabolizable, MJ/kg	12.08	12.07	12.05	12.00	11.94	11.94	11.94	11.93	11.51	11.51	11.51	11.47
Fibra bruta, %	2.98	4.08	4.59	5.15	3.26	3.75	4.39	4.93	3.17	4.43	5.48	6.52
Calcio total, %	1.05	1.05	1.05	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.05	1.05	1.05
Fósforo disponible, %	0.48	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.45	0.40	0.40	0.40	0.40
Lisina, %	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67
Metionina + cistina, %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.67	0.67	0.67	0.67	0.57	0.57	0.57	0.57

* Premezcla mineral por kg de alimento: selenio (0.1 mg), hierro (40 mg), cobre (12 mg), zinc (120 mg), magnesio (100 mg), yodo (2.5 mg) y cobalto (0.75 mg) y Premezcla vitamínica por kg de alimento: vitamina A (10 000 UI), vitamina D3 (2 000 UI), vitamina E (10 mg), vitamina K3 (2 mg), vitamina B1 (tiamina, 1 mg), vitamina B2 (riboflavina, 5 mg), vitamina B6 (piridoxina, 2 mg), vitamina B12 (15.4 mg), ácido nicotínico (125 mg), pantoténato de calcio (10 mg), ácido fólico (0.25 mg) y biotina (0.02 mg).

procedimiento de captura y sangrado de cada animal no superó los cinco minutos. Para la obtención del suero, la sangre extraída se almacenó en tubos sin anticoagulante, y se extrajo el suero después de tres horas de incubación a 37 °C. El suero se conservó a -20 °C hasta su evaluación. Las proteínas totales se determinaron por el método colorimétrico de Biuret a 545 nanómetros (nm). La albúmina se cuantificó mediante el método de bromocresol verde en espectrofotómetro a 630 nm ([Doumas et al. 1972](#)). Las globulinas se calcularon por diferencia entre las proteínas totales y la albúmina.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en cada período de evaluación se sometieron a análisis de varianza, según un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos, y con 7 y 10 repeticiones por tratamiento, para los indicadores de comportamiento productivo y salud, respectivamente. Para el procesamiento estadístico se utilizó el software InfoStat, versión 2012 ([Di Rienzo et al. 2012](#)). Para determinar las diferencias entre medias se aplicó la Dócima de Duncan ([1955](#)), con un nivel de significancia de $P<0.05$.

Cuadro 2. Efecto de la inclusión de harina de forraje de tithonia (ecotipo 10) en indicadores productivos de pollitas de reemplazo de ponedoras (7 a 63 d de edad).

Indicadores	Harina de forraje de <i>Tithonia diversifolia</i> , %									
	7 a 28 días					29 a 63 días				
	0	10	15	20	P≤	0	10	15	20	P≤
Consumo de alimento (g/ave)	419 ±6.50	429 ±6.50	427 ±6.50	408 ±6.50	0.101	1320 ±14.02	1346 ±14.02	1359 ±14.02	1317 ±14.02	0.109
Conversión alimenticia (g/g)	2.12 ±0.04	2.17 ±0.04	2.17 ±0.04	2.01 ±0.04	0.054	2.62 ±0.04	2.65 ±0.04	2.69 ±0.04	2.60 ±0.04	0.474
Ganancia de peso vivo (g/ave)	198 ±2.42	198 ±2.42	197 ±2.42	203 ±2.42	0.389	503 ±4.05	509 ±4.05	507 ±4.05	507 ±4.05	0.782
Peso vivo (g/ave)	261 ±2.04	261 ±2.04	262 ±2.04	268 ±2.04	0.063	764 ± 3.34	770 3.34	769 3.34	775 3.34	0.177
Uniformidad (%)	-	-	-	-	-	80.51 ±2.25	81.81 ±2.25	81.81 ±2.25	84.41 ±2.25	0.668
Estándar del peso vivo (%)	93.37 ±0.73	93.16 ±0.73	93.52 ±0.73	95.77 ±0.73	0.063	100.58 ±0.44	101.26 ±0.44	101.15 ±0.44	100.58 ±0.44	0.176
Viabilidad (%)	99.99 ±0.12	99.99 0.12	99.99 0.12	99.75 0.12	0.409	99.59 ±0.16	99.75 ±0.16	99.75 ±0.16	99.43 ±0.16	0.414

Media ± Error estándar.

Resultados

El Cuadro 2 muestran el comportamiento productivo de las aves entre los 7 y 63 d de edad. Los niveles crecientes de harina de tithonia no afectaron el comportamiento productivo de las aves ($P>0.05$). Es de destacar la alta viabilidad de animales (>99 %) en ambas etapas, así como el estándar del peso vivo, que mostró valores superiores al 93 % ($P=0.063$) a los 28 días de edad, y de 100 % ($P=0.176$) a los 63 días.

El comportamiento de los animales de 64 a 126 d de edad se muestra en el Cuadro 3. La inclusión de tithonia conservó los indicadores de peso vivo, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia, ya que no presentaron diferencias con el tratamiento control ($P>0.05$). La uniformidad del lote se mantuvo en un rango que osciló de 76.6 a 88.3 % y fue mayor ($P<0.003$) en las aves que recibieron las dietas con 20 % de tithonia. La viabilidad fue similar a los períodos anteriores y superó el 99 %.

La inclusión de harina de forraje de tithonia no modificó ($P>0.05$) la concentración de proteínas totales, albúminas y globulinas en suero sanguíneo (Cuadro 4). Las aves mantuvieron una relación albúmina/globulina por encima de 0.8.

Cuadro 3. Efecto de la inclusión de harina de forraje de tithonia (ecotipo 10) en indicadores productivos del reemplazo de ponedoras (64 a 126 d de edad).

Indicadores	Harina de forraje de <i>Tithonia diversifolia</i> , %				P≤
	0	10	15	20	
Consumo de alimento (g/ave)	4251 ±42.75	4336 ±42.75	4241 ±42.75	4361 ±42.75	0.146
Conversión alimenticia (g/g)	8.09 ±0.12	8.33 ±0.12	8.06 ±0.12	8.50 ±0.12	0.068
Ganancia de peso vivo (g/ave)	526 ±4.68	521 ±4.68	526 ±4.68	513 ±4.68	0.200
Peso vivo (g/ave)	1290 ±3.22	1291 ±3.22	1295 ±3.22	1288 ±3.22	0.532
Uniformidad (%)	76.62 ^a ±1.98	81.81 ^a ±1.98	80.51 ^a ±1.98	88.30 ^b ±1.98	0.003
Estándar del peso vivo (%)	99.24 ±0.25	99.31 ±0.25	99.62 ±0.25	99.11 ±0.25	0.531
Viabilidad (%)	99.91 ±0.08	99.99 ±0.08	99.93 ±0.08	99.91 ±0.08	0.546

^{a,b} Letras desiguales en la misma fila difieren significativamente a P<0.05, ([Duncan, 1955](#)); Media ± Error estándar.

Cuadro 4. Efecto de la inclusión de harina de forraje de tithonia (ecotipo 10) en indicadores de salud de reemplazo de ponedoras (126 d de edad)

Indicadores	Harina de forraje de <i>Tithonia diversifolia</i> , %				P≤
	0	10	15	20	
Proteínas totales (g/L)	40.84 ±1.71	38.16 1.71	40.49 1.71	45.06 1.71	0.052
Albúmina (g/L)	18.06 ±0.73	17.92 ±0.73	18.75 ±0.73	20.14 ±0.73	0.142
Globulinas (g/L)	22.80 ±1.23	20.26 1.23	21.74 1.23	24.92 1.23	0.071
Relación albúmina/globulina	0.81 ±0.04	0.91 0.04	0.88 0.04	0.82 0.04	0.284

Discusión

El contenido de fibra de los tratamientos experimentales es más alto que el reportado para el concentrado comercial, lo cual afectó ligeramente solo el valor energético de la dieta con 20 % de inclusión de harina de Tithonia. Quizás eso explique el por qué no se afectó (P>0.05) el peso vivo, el consumo de alimentos, la conversión

alimenticia y la ganancia de peso vivo de los animales en ninguna de las etapas del estudio y permitió obtener para esas variables valores similares a los obtenidos cuando se utilizó la dieta convencional. Esto indica que las dietas en estudio tuvieron un contenido adecuado de energía y proteína, lo cual permitió que las pollitas de reemplazo lograran satisfacer sus necesidades nutritivas y por lo tanto, no se afectó su comportamiento.

Existen muy pocos trabajos en la literatura sobre el uso del forraje de tithonia en pollitas de reemplazo de ponedoras; sin embargo, en estudios sobre la inclusión de harina de *Moringa oleifera* en esta misma categoría de aves, Almeida y Savón ([2011](#)) tampoco reportaron afectación en la ganancia de peso. Por su parte, Mesa et al. ([2020](#)) no encontraron efecto sobre el comportamiento productivo de las pollitas al suministrar hasta un 20 % de harina de forraje de *M. oleifera*. En cambio, Trujillo y Escobar ([2012](#)) observaron que la inclusión de niveles altos (25, 50 y 75 % en la dieta) de harina de otras especies forrajeras (*Trichanthera gigantea*, *Tithonia diversifolia*, *Saccharum* spp, *Alocasia macrorrhiza* y *Musa paradisiaca*) tuvo un efecto negativo sobre el comportamiento productivo de pollos de engorde, con disminución en la ganancia de peso desde 31 hasta 83 %. También, Melesse et al. ([2011](#)) y Almeida et al. ([2016](#)) reportaron un aumento en el consumo de alimentos al incluir moringa en la ración de pollos, y lo atribuyeron a la incapacidad de esta para cubrir los requerimientos energéticos. Sin embargo, en el caso particular de este estudio las dietas fueron isoenergéticas, por lo que no se apreció dicho efecto.

De igual forma, los resultados de este estudio coinciden con lo reportado por Jiménez-Moreno et al. ([2010](#)) quienes no encontraron efecto sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia, en pollos de 1 a 21 d de edad, al incluir 1.54 % de fibra cruda, 3 % de celulosa y otras cuatro dietas dispuestas factorialmente que incluían 3 % de cáscara de avena o pulpa de remolacha. Gutiérrez-Castro y Hurtado-Nery ([2019](#)) por su parte, no hallaron cambios en el consumo de alimento con niveles crecientes de tithonia (5, 10 y 15 %) en dietas de pollos de engorde.

Rivera et al. ([2018](#)) afirman que *Tithonia diversifolia* es una planta forrajera con potencial para la producción avícola desde el punto de vista nutricional, sobre todo por su bajo contenido de metabolitos secundarios perjudiciales. Por su parte, Verdecia et al. ([2021](#)) informaron la presencia de niveles bajos de esos grupos funcionales, como taninos, alcaloides y saponinas, lo que permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes por los animales que la consumen.

En cuanto a la uniformidad del lote, en la literatura científica hay escasos trabajos que evalúen este indicador en pollitas de reemplazo de ponederas alimentadas con tithonia. La mayor uniformidad obtenida con el 20% de inclusión de la harina de este forraje en el alimento y la menor uniformidad con el tratamiento control pudiera estar condicionada por la presencia de algún compuesto bioactivo no identificado que está presente en la harina de forraje de *Tithonia diversifolia*, ecotipo 10 que lo favorece. En este sentido, Scull et al. (2022) encontraron niveles bajos de alcaloides, compuestos fenólicos y triterpenos; metabolitos que pueden desencadenar marcada actividad biológica en los animales. Este resultado debe ser objeto de investigación en estudios posteriores.

Itzá et al. (2011) señalan que se logrará una mejor producción mientras más homogénea sea la población. Abad y Sarabia (2014) refieren que la uniformidad es buena cuando es superior a 80 %. En este estudio, independientemente que las aves con 20 % de tithonia mostraron el valor más alto de uniformidad (Cuadro 3), con los tres niveles de inclusión de harina de este forraje se obtuvo uniformidades por encima del 80 %, lo que se considera como buena según estos autores. Se espera que esto permitirá eventualmente mantener una producción de huevos de acuerdo con la potencialidad de la línea genética usada (Gous 2018).

Los resultados del comportamiento productivo de este trabajo indican que las pollitas de reemplazo de ponederas White Leghorn L33 responden positivamente a la inclusión de este forraje hasta un 20 % de la ración, lo cual constituye un nuevo aporte para esta categoría de aves. Además, si bien este estudio no incluyó un análisis económico, se reconoce que al ser más baratas las raciones que incluían harina de *Tithonia diversifolia* ecotipo 10 en sustitución de la harina de maíz-soya, eso debe resultar en mejores indicadores económicos tal como fue mostrado por Báez-Quiñones et al. (2022).

Los indicadores séricos medidos en este estudio (Cuadro 4) estuvieron dentro de los rangos fisiológicos referenciales para la especie, que son de 30–50 g/L de proteínas totales y 11–27 g/L de albúmina, según Campbell (2012) y Miranda et al. (2010), respectivamente. Por otro lado, Gutiérrez-Castro y Corredor-Matus (2019) tampoco encontraron variación en dichos indicadores al evaluar la inclusión de hasta 15 % de harina de tithonia en la dieta de pollos de ceba. Sin embargo, con el uso de harina de follaje de moringa, Abbas et al. (2018) observaron una disminución de esos indicadores a

medida aumentó el nivel de inclusión. Los niveles de proteínas en suero obtenidos en este estudio se asemejan a los de Almeida et al. (2020), quienes encontraron valores de 36.4 y 16.7 g/L para proteínas totales y albúmina, respectivamente; y las ligeras diferencias a favor de este estudio posiblemente sean debidas al sexo y la edad de muestreo de los animales, ya que, en esta investigación se evaluaron pollitas de reemplazo de 18 semanas de edad y las aves experimentales se sometieron a un periodo de ayuno de 8 horas antes del muestreo.

La albúmina se sintetiza exclusivamente en el hígado y representa la mayor fracción proteica del plasma. Por tanto, al no encontrar diferencias entre tratamientos, sugiere que los niveles de harina de forraje de tithonia estudiados, no afectaron la síntesis de esta proteína a nivel hepático (Savón et al. 2022) para esta categoría de animales. Resultados similares fueron encontrados por Gutiérrez-Castro y Corredor-Matus (2019) al evaluar 15 % de inclusión de harina de tithonia en la dieta de pollos de ceba.

En relación con las globulinas, tampoco se encontraron diferencias entre tratamientos y los valores obtenidos estuvieron dentro de los rangos normales (20–40 g/L) según Ross et al. (1976). Los niveles de globulina sérica obtenidos en este estudio son superiores a los encontrados por Savón et al. (2022) en dietas de pollos de ceba, quienes obtuvieron cifras de 14.48, 16.34, 14.28, 13.76 y 16.32 g/L para los tratamientos control, 5, 10, 15 y 20 % de harina de forraje de tithonia, respectivamente. Sin embargo, están en correspondencia con los valores de 17–20 g/L alcanzados por Gutiérrez-Castro y Corredor-Matus (2019) en pollos de ceba.

La relación albúmina/globulina observada para los diferentes tratamientos se considera favorable, puesto que obtuvo cifras próximas a la unidad. Según Savón et al. (2022), un valor de 1.0 es la relación óptima e indica que las aves se hallaban bien desde el punto de vista nutricional.

En síntesis, los parámetros de proteínas en el suero no fueron afectados por los niveles de inclusión de harina de tithonia; además, evidencian que no hubo interacción de factores antinutricionales para la síntesis de los indicadores séricos del metabolismo proteico. Por lo tanto, se reafirma la bondad de las características nutricionales de la harina de *Tithonia diversifolia* ecotipo 10 que había sido informada por Scull et al. (2022). Sin embargo, se recomienda evaluar otros parámetros sanguíneos que corroboren el estado de salud de las aves.

Conclusiones

La inclusión de hasta 20 % de harina de forraje de *tithonia* del ecotipo 10 en raciones de pollitas de reemplazo de gallinas ponedoras White Leghorn, con edad entre 1 y 18 semanas, no afecta el comportamiento productivo ni la salud; por ello se recomienda utilizar hasta ese nivel en las dietas de esa categoría de aves.

Referencias

- (Nota de los editores: Enlaces verificados el 20 de mayo de 2023).
- Abad JC; Sarabia J. 2014. Mejora de la uniformidad en recría. Revista AviNews, Barcelona, España. bit.ly/3OuHvDI
- Abbas RJ; Abdul-Lateef N; Mahmood A; Jameel YJ. 2018. Haematological and biochemical indices of broiler chicks fed at different levels of *Moringa oleifera* leaf meal. Biochemical and Cellular Archives 18(2):1931–1936. bit.ly/3MFyEQj
- Almeida M; Martínez M; Dihigo LE. 2020. Blood indicators of colostomized broilers which intake *Moringa oleifera* forage meal. Technical note. Cuban Journal of Agricultural Science 54(1):95–100. bit.ly/3OsTS3k
- Almeida M; Martínez MP; Dihigo LE. 2016. Effect of *Moringa oleifera* forage meal intake on digestive indicators of colostomized broilers. Cuban Journal Agricultural Science 50(4):569–578. bit.ly/3IpVEhy
- Almeida M; Savón L. 2011. Efecto de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* en indicadores fisiológicos y de salud de pollitas de reemplazo de ponedoras. En: Memorias VII Congreso Internacional de Ciencias Veterinarias 4–8 abril, 2011. La Habana, Cuba. ISBN: 978-989-7190-3.
- AOAC International. 2019. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists, 21st Edition, Washington DC, USA.
- Báez-Quiñones N; Rodríguez B; Ruiz TE; Vásquez Y; Díaz-Rodríguez H. 2022. Resultados económicos del empleo de harina de forraje de *Tithonia diversifolia* en la dieta de diferentes categorías de aves. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 10(2):149–155. doi: [10.17138/tgft\(10\)149-155](https://doi.org/10.17138/tgft(10)149-155)
- Buragohain R; Rajkhowa TK. 2019. Growth nutrient utilization and economics of broiler fed *Tithonia diversifolia* flower meal (TDFM) as substitute of conventional feedstuffs in Mizoram India. Indian Journal of Animal Research 53(3):349–354. doi: [10.18805/ijar.B-3500](https://doi.org/10.18805/ijar.B-3500)
- Campbell TW. 2012. Clinical chemistry of birds. In: Thrall MA, Weiser G, Allison RW, Campbell TW, eds. Veterinary hematology and clinical chemistry. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Ames, USA. p. 582–598. ISBN: 978-0-813-81027-0.
- Carranco-Jáuregui ME; Barrita-Ramírez V; Fuente-Martínez B; Ávila-González E; Sanginés-García L. 2020. *Tithonia diversifolia* meal in diets for first cycle laying hens and its effect on egg yolk color. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 11(2):355–368. doi: [10.22319/rmcp.v11i2.5090](https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.5090)
- Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; Gonzalez L; Tablada M; Robledo CW. 2012. Grupo InfoStat versión 2012. FCA Universidad Nacional de Córdoba Argentina. infostat.com.ar
- Doumas BT; Biggs HG; Arends RL; Pinto PVC. 1972. Determination of serum albumin. In: Cooper GR, ed. Standard Methods of Clinical Chemistry. Academic Press, New York, USA. p. 175–188. doi: [10.1016/B978-0-12-609107-6.50022-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-609107-6.50022-2)
- Duncan B. 1955. Multiple range and multiple F test. Biometrics 11(1):1–42. doi: [10.2307/3001478](https://doi.org/10.2307/3001478)
- Fuente-Martínez B; Carranco-Jáuregui M; Barrita-Ramírez V; Ávila-González E; Sanginés-García L. 2019. Effect of *Tithonia diversifolia* meal on productive variables in laying hens. Abanico Veterinario 9:1–12. doi: [10.21929/abavet2019.911](https://doi.org/10.21929/abavet2019.911)
- González-Castillo JC; Hahn Von-Hessberg CM, Narváez-Solarte W. 2014. Características botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) y su uso en la alimentación animal. Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural de Caldas 18(2):45–58. bit.ly/3oiXha5
- Gous RM. 2018. Nutritional and environmental effects on broiler uniformity. World's Poultry Science Journal 74:21–34. doi: [10.1017/S0043933917001039](https://doi.org/10.1017/S0043933917001039)
- Gutiérrez-Castro LL; Corredor-Matus JR. 2019. Química sanguínea en pollos de engorde alimentados con harina de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*) en fase de finalización. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia 14:42–52. doi: [10.21615/cesmvz.14.3.4](https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.3.4)
- Gutiérrez-Castro LL; Hurtado-Nery VL. 2019. Uso de harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la alimentación de pollos de engorde. Orinoquia 23:56–62. doi: [10.22579/20112629.569](https://doi.org/10.22579/20112629.569)
- Hernández-Jiménez A; Pérez-Jiménez JM; Bosch-Infante D; Castro N. 2019. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. Cultivos Tropicales 40(1):a15–e15. bit.ly/43c0W8r
- Itzá MF; Ortiz J; Vidales HJ; Olguien HA; Quintero JA; Rodríguez Alarcón CA; Orozco UM. 2011. Características de crecimiento de politas de postura en relación al tipo de alojamiento. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 46(7):768–771. doi: [10.1590/S0100-204X2011000700013](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000700013)
- Jiménez-Moreno E; González-Alvarado JM; González-Sánchez D; Lázaro R; Mateos GG. 2010. Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age. Poultry Science 89:2197–2212. doi: [10.3382/ps.2010-00771](https://doi.org/10.3382/ps.2010-00771)
- Mahecha L; Rosales M. 2005. Valor nutricional del follaje de Botón de Oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. Livestock Research for Rural Development 17, Article #100. lrrd.cipav.org.co/lrrd17/9/mahe17100.htm
- Marques G; Pompei JC; Martini M. 2017. Manual veterinario de toma y envío de muestras. MAPA/OPS/PANAFTOSA, Rio de Janeiro, Brasil. iris.paho.org/handle/10665.2/34527

- Melesse A; Tiruneh W; Negesse T. 2011. Effects of feeding *Moringa stenopetala* leaf meal on nutrient intake and growth performance of Rhode Island Red chicks under tropical climate. Tropical and Subtropical Agroecosystems 14:485–492. bit.ly/43e8g3C
- Méndez-Martínez Y; Ramírez JL; Álvarez AR; Leyva L; Pérez Y. 2019. Partial substitution of commercial concentrate for *Azolla filiculoides* meal in the productive response of *Oryctolagus cuniculus*. Cuban Journal of Agricultural Science 53:149–159. bit.ly/3pVJtCT
- Mesa O; Valdivié M; Rodríguez B; Rabello CB; Berrio I; Couso Z. 2020. Use of diets with *Moringa oleifera* forage meal for White Leghorn L33 laying hens and replacement pullets. Cuban Journal of Agricultural Science 54:219–227. bit.ly/42Ode7c
- Miranda S; Rincón-Reyes H; Muñoz R; Higuera A; Arzaillez Fischer AM; Urdaneta H. 2010. Parámetros productivos y química sanguínea en pollos de engorde alimentados con tres niveles dietéticos de harina de granos de frijol (*Vigna unguiculata*) (i) Walp durante la fase de crecimiento. Revista Científica (Maracaibo) 17(2):150–160. bit.ly/42SUhAa
- Rivera JE; Chará J; Gómez-Leyva JF; Ruíz T; Barahona R. 2018. Variabilidad fenotípica y composición fitoquímica de *Tithonia diversifolia* A. Gray para la producción animal sostenible. Livestock Research for Rural Development 30, Article #200. lrrd.org/lrrd30/12/rive30200.html
- Roa ML; Corredor JR; Hernández MC. 2020. Physiological behavior of broilers using diets with *Tithonia diversifolia* and probiotics. Archivos de Zootecnia 69(268):406–417. doi: [10.21071/az.v69i268.5388](https://doi.org/10.21071/az.v69i268.5388)
- Rodríguez B; Savón L; Vázquez Y; Ruíz TE; Herrera M. 2018. Evaluación de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* para la alimentación de gallinas ponedoras. Livestock Research for Rural Development 30, Article #56. lrrd.org/lrrd30/3/brod30056.html
- Rodríguez B; Savón L; Vázquez Y; Ruíz TE; Herrera M. 2020. Comportamiento productivo de pollos de engorde alimentados con harina de forraje de *Tithonia diversifolia*. Livestock Research for Rural Development 32, Article #22. lrrd.org/lrrd32/2/brod32022.html
- Ross JG; Christie G; Halliday WG; Jones RM. 1976. Determination of hematology and blood chemistry values in healthy six weeks old broiler hybrid. Avian Pathology 5(4):237–281. doi: [10.1080/03079457608418196](https://doi.org/10.1080/03079457608418196)
- Rostagno HS; Albino LF; Hannas HI; Donzele JL; Sakomura NK; Perazzo FG; Saraiva A; Teixeira ML; Rodríguez PB; Oliveira RF de; Barreto SLT; Brito CO. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4ta edição. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brazil. bit.ly/3oAL0hp
- Ruiz TE; Alonso J; Febles GJ; Galindo JL; Savon LL; Chongo B B; Martínez Y; La O O; Cino D M; Crespo GJ; Mora L; Valenciaga N; Padilla C; Rodríguez B; Muir L; Rivero A; Hernández N. 2017. Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray en Cuba. En: Memorias IX Congreso Sistemas Silvopastoriles, Cali, Colombia, 6-8 septiembre 2017. p. 486–487. ISBN 978-958-9386-78-1
- Ruiz TE; Alonso J; Torres V; Valenciaga N; Galindo J; La O O; Febles G; Díaz H; Tuero R; Mora C. 2021. Evaluación durante la estación lluviosa de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona de Las Tunas y Granma en el oriente de Cuba. Avances en Investigación Agropecuaria 25(1):75–85. bit.ly/3Ox1t0R
- Ruiz TE; Febles G; Torres V; González J; Achang G; Sarduy L; Díaz H. 2010. Assessment of collected materials of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray in the center-western region of Cuba. Cuban Journal of Agricultural Science 44: 285-289. bit.ly/45g6XCY
- Savón L; Mora LM; Dihigo LE; Rodríguez V; Rodríguez Y; Scull I; Hernández Y; Ruiz TE. 2008. Efecto de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento-ceba. Zootecnia Tropical 26(3):387–390. bit.ly/3MkyTgg
- Savón L; Rodríguez B; Vázquez Y; Scull I; Herrera M; Ruiz TE. 2022. Immune response and blood biochemistry in broilers fed tithonia forage meal at the finishing stage. Cuban Journal of Agricultural Science 56(2):127–134. bit.ly/4342pxE
- Scott M; Nesheim M; Young R. 1976. Nutrition of the Chicken. Humprey Press, Geneva, NY, USA.
- Scull I; Savón L; Ruiz TE; Rodríguez Y. 2022. Componentes químicos y efecto de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) en la calidad de la carne de cerdos en crecimiento-ceba. Livestock Research for Rural Development 34, Article #33. lrrd.cipav.org.co/lrrd34/4/3433idan.html
- Trujillo A; Escobar A. 2012. Evaluación de la sustitución de concentrado comercial por harina de forrajerías en pollos de engorde Ross. Agroecología: Ciencia y Tecnología 1:6–12. hdl.handle.net/11404/6717
- Vázquez Y; Rodríguez B; Savón L; Ruiz TE. 2021. Efecto de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* en indicadores productivos de reemplazo de ponedoras White Leghorn L-33. Livestock Research for Rural Development 33, Article #110. lrrd.cipav.org.co/lrrd33/9/33110ysnag.html
- Verdecia DM; Herrera RC; Torres E; Sánchez AR; Hernández

LG; Herrera RS; Ramírez JL; Bodas R; Giráldez FJ; Guillaume J; Uvidia H; López S .2021. Primary and secondary metabolites of six species of trees, shrubs

and herbaceous legumes. Cuban Journal of Agricultural Science 5:77–93. bit.ly/3WiFLiU

(Recibido para publicación 28 de julio 2022 aceptado 03 de mayo 2023; publicado 31 de mayo 2023)

© 2023



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales es una revista de acceso abierto publicada por el *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, en asociación con el *Instituto de Recursos Genéticos de Cultivos Tropicales de la Academia China de Ciencias Agrícolas Tropicales (TCGRI-CATAS)*. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Research Paper

Influence of shade on productivity and nutritional value of *Urochloa decumbens* in silvopastoral systems using different spatial arrangements of eucalyptus cultivars

*Influencia de la sombra sobre la productividad y el valor nutricional de *Urochloa decumbens* en sistemas silvopastoriles utilizando diferentes arreglos espaciales de cultivares de eucalipto*

CLAUDINEI ALVES DOS SANTOS¹, ALAN FIGUEIREDO DE OLIVEIRA¹, ELWIRA DAPHINN SILVA MOREIRA¹, LÚCIO CARLOS GONÇALVES¹, MARIA CELUTA MACHADO VIANA², MIGUEL MARQUES GONTIJO NETO³ AND ÂNGELA MARIA QUINTÃO LANA¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brazil. vet.ufmg.br

²Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Campo Experimental de Santa Rita, Prudente de Moraes, MG, Brazil. epamig.br

³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brazil. embrapa.br

Abstract

This study evaluated pasture productivity and nutritional characteristics of *Urochloa decumbens* in silvopastoral systems (SPS) with different eucalyptus cultivars and spatial arrangements providing differing levels of shade. SPS were arranged to provide 46 % shade (eucalyptus trees arranged in 2 double rows 2 m apart, with trees every 3 m in each row, and 20 m between double rows), 60 % shade (eucalyptus trees arranged in 2 double rows 2 m apart, with trees every 2 m in each row in double rows and 9 m between double rows) and 57 % shade (eucalyptus trees arranged in a single row, with trees every 2 m in the row and 9 m between rows) using eucalyptus cultivars ‘GG100’, ‘I144’ or ‘VM58’. Two full sun pastures treated as managed (soil pH correction and N, P and K fertilizer application) or non-managed (no correction or fertilizer application) were evaluated in addition to the 3 SPS arrangements. Photosynthetically active radiation (PAR) was 1,439 µmol/m²/s in full sun compared with a mean of 715 µmol/m²/s under different SPS arrangements. Leaf area index of *U. decumbens* was 28 % higher in 46 % shade and lower in all shade arrangements compared with full sun managed pasture. The dry matter yield was 58 % lower in 46 % shade and 86 % lower in 60 % shade compared with full sun managed pasture. The crude protein content in SPS pastures was higher than in the full sun pastures, with higher values in 57 % and 60 % shade. SPS significantly reduced the PAR and forage yield. These results indicate that in systems where the main objective is animal production, spacing between tree rows greater than 20 m should be used to provide sufficient high-quality grass.

Keywords: Chemical composition, integrated systems, integration of livestock-forest plantations, tropical grasslands.

Resumen

Este estudio evaluó la producción y las características nutricionales del pasto *Urochloa decumbens* en sistemas silvopastoriles (SSP) con diferentes variedades de eucalipto y diferentes arreglos espaciales que brindan diferentes niveles de sombra. Los SSP evaluados fueron establecidos para dar sombra más leve (eucaliptos dispuestos en hileras dobles separadas por 2 m, con árboles a cada 3 m en cada hilera y 20 m entre hileras dobles – 46 % sombreado),

Correspondence: Alan Figueiredo de Oliveira, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brazil.

Email: alanfigueiredodeoliveira@yahoo.com.br

sombra más densa (eucaliptos dispuestos en hileras dobles separadas por 2 m, con árboles a cada 2 m en cada hilera y 9 m entre hileras dobles - 60 % sombreado) y sombra intermedia (eucaliptos dispuestos en una sola hilera, con árboles cada 2 m por hilera y 9 m entre hileras - 57 % sombreado) usando cultivares de eucalipto 'GG100', 'I144' o 'VM58'. Además de los 3 arreglos SSP, se evaluaron dos pastizales a pleno sol, un tratado con manejo (corrección del pH del suelo y aplicación de fertilizantes como N, P y K) y otro no manejado (sin corrección ni aplicación de fertilizantes). La radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue de 1,439 µmol/m²/s a pleno sol en comparación con una media de 715 µmol/m²/s bajo los SSP. El índice de área foliar de *U. decumbens* fue 28 % más alto en sombra leve que en sombra densa y más bajo en todos los tipos de sombra en comparación con los pastos manejados a pleno sol. El rendimiento de materia seca fue 58 % más bajo en 46 % de sombra y 86 % más bajo en 60 % de sombra en comparación con los pastos manejados a pleno sol. El contenido de proteína cruda en los pastos en SSP fue mayor que en pastos a pleno sol, con los valores más altos para 57 y 60 % de sombra. Los SSP redujeron significativamente la PAR y el rendimiento de forraje. Por lo tanto, en sistemas donde el objetivo principal es la producción animal, se debe utilizar un espacio entre hileras de árboles mayor a 20 m para proporcionar suficiente pasto de alta calidad.

Palabras clave: Composición química, integración ganadería-plantaciones forestales, pastos tropicales, sistemas integrados.

Introduction

The large area of degraded pastures in Brazil is one of the main factors reducing national agriculture sustainability, with an estimated 70 % of pastures showing some degree of degradation ([Dias-Filho 2014](#)). This is mainly due to unsuitable stocking rates without maintenance of soil fertility. Silvopastoral systems (SPS) provide a viable option for recovery of degraded pastures to increase production system profitability ([Torres et al. 2017](#)).

Spatial arrangement of trees in SPS can reduce photosynthetically active radiation (PAR) reaching the pasture canopy, generating changes in agronomic and nutritional attributes ([Santos et al. 2016; 2018](#)). Forages growing under moderate shading have compensatory adaptive mechanisms, such as greater height, specific leaf area and photosynthetic efficiency, which allow the plant to maintain performance ([Gómez et al. 2012; Gomes et al. 2020](#)). However, in very dense shade, forage productivity is reduced and can compromise livestock production ([Santos et al. 2018](#)). Grasses grown under lower PAR show changes in nutritional value, mainly crude protein (CP) increase and fibrous fractions reduction ([Santos et al. 2016; Lima et al. 2019](#)).

Eucalyptus (*Eucalyptus species*) is one of the main tree species used in SPS in Brazilian tropical climates ([Tonucci et al. 2011](#)), mainly intercropped with *Urochloa* grasses. Trees canopy characteristics and spatial arrangement are the main factors that determine PAR and pasture performance. The objective of this study was to evaluate the productivity and nutritional value of *U. decumbens* in SPS using different eucalyptus cultivars and spatial arrangements to provide different levels of shading to the pasture to determine the best combinations of grass and eucalyptus trees.

Materials and Methods

Experimental area

The experiment was carried out in the Cerrado biome at the Minas Gerais Agricultural Research Corporation (Epamig), Prudente de Moraes, Minas Gerais, Brazil (19°27'15" S, 44°09'11" W; 732 masl). The area has a monsoon-influenced humid subtropical climate with hot and rainy summers and dry winters ([Alvares et al. 2013](#)). The climatological data during the experiment and the last 30 years are shown in Figure 1. The soil is classified as red ferralsols ([WRB 2006](#)). The experimental area soil chemical characteristics at 0–20 and 20–40 cm depths are shown in Table 1.

Experimental area history and treatments

A 10 ha pasture of *U. decumbens* planted in 1993 was converted into an integrated crop-livestock-forest system (ICLFS) in 2008. At conversion, ants were controlled and the entire vegetation cover was removed using 4 L of glycophosphate/ha [N-(phosphonomethyl) glycine]. Dolomitic limestone was applied at 2,000 kg limestone/ha to increase soil pH. The entire area was plowed and harrowed and subsoiling carried out in the eucalyptus planting rows. Reactive natural phosphate was applied at 400 kg P/ha in the entire area.

The experimental area had a slope with different soil fertilities. Therefore, the area was divided into 3 blocks along the slope with similar fertility and similar altitude. One replicate per treatment was randomly allocated to each block. Eucalyptus cultivars 'GG100', 'I144' (*E. grandis* × *E. urophylla*) and 'VM 58' (*E. grandis* × *E. camaldulensis*)

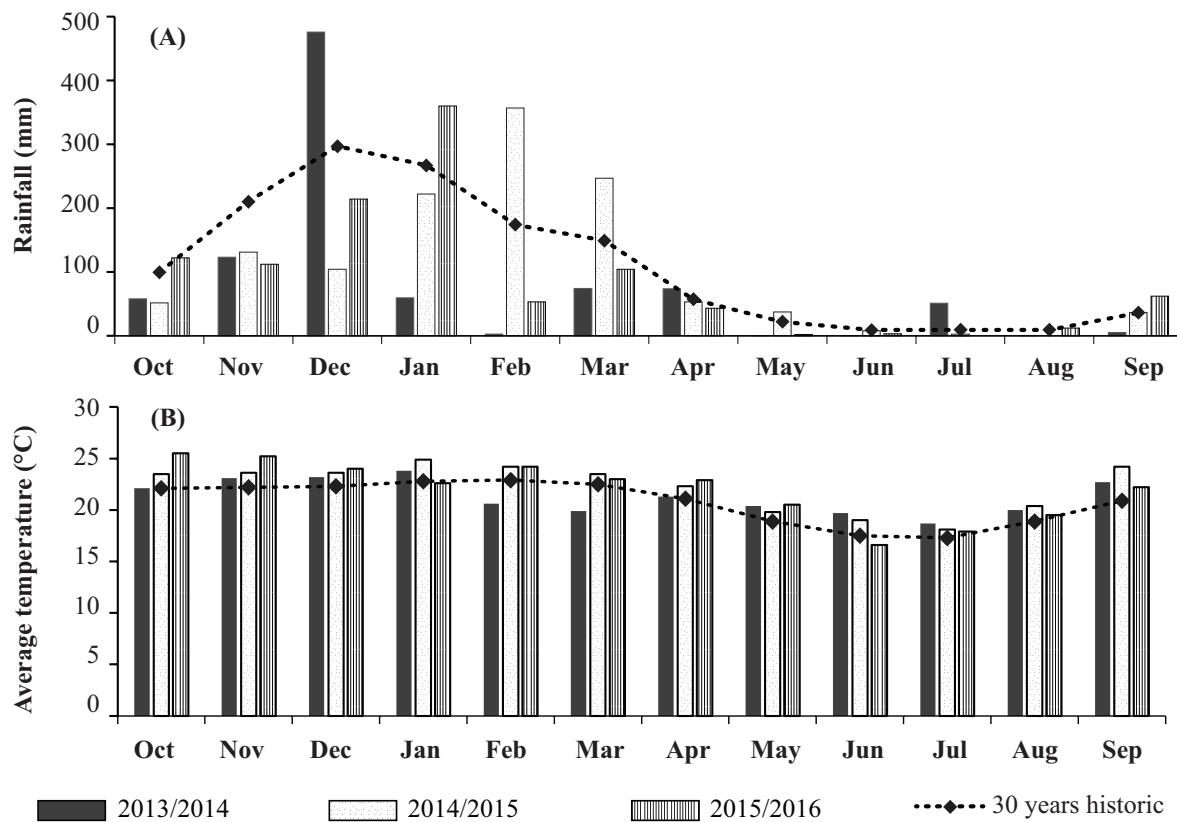


Figure 1. Monthly rainfall (A) and average temperature (B) during the experimental period and last 30 years climatological data in the experimental area. Source: National Institute of Meteorology (INMET).

were randomly allocated in each spatial arrangement to each block. Eucalyptus trees were planted in an east-west direction in 2008 when the ICLFS was established in 3 spatial arrangements to provide (A) 46 % shade with 434 trees/ha (2 double rows 2 m apart, with within row spacing between trees of 3 m and 20 m between double rows), (B) 60 % shade with 909 trees/ha (trees in a double row with trees every 2 m in each row and 9 m between double rows) and (C) 57 % shade of 556 trees/ha (single row of eucalyptus trees every 2 m in a row and 9 m between rows) (Figure 2).

Table 1. Experimental area soil chemical characteristics at 0–20 and 20–40 cm depth.

Soil depth (cm)	pH	H+Al Cmolc/dm ³	Al Mg/dm ³	Ca dag/kg	K Mg/dm ³	P dag/kg	OM
0–20	5.4	7.5	0.2	3.2	70.3	3.7	4.3
20–40	5.3	7.6	0.6	2.5	56.7	3.7	4.3

pH=pH in water suspension at rate of 1:2.5; H+Al=sum of hydrogen and aluminum obtained by extraction with Ca (OAc)₂ 0.5 mol pH 7.0; Al=aluminum concentration obtained by extraction with KCl 1 mol/L; Ca=calcium concentration obtained by extraction with KCl 1 mol/L; K=potassium concentration obtained by Mehlich extraction technique; P=phosphorus concentration obtained by Mehlich extraction technique; OM=organic matter obtained by Walkley and Black method.

In the first 3 agricultural cycles (2009/2010, 2010/2011 and 2011/2012) maize (*Zea mays*) was grown intercropped with *U. decumbens* cultivar 'Basilisk' between eucalyptus tree rows. In the fourth agricultural cycle (2012/2013), only *U. decumbens* cultivar 'Basilisk' pasture was intercropped and the system was converted into SPS.

Two pastures of 1 ha each of *U. decumbens* planted in 1993 adjacent to the SPS were used as full sun controls. One pasture received the same management from the start of the experiment as the pasture used in SPS (soil pH correction and N, P and K fertilizer application) and the other did not receive any management (no soil pH correction nor fertilizer application). Both pastures were divided into 3 replicates. The total experimental area was 12 ha, with 10 ha of SPS (3.33 ha for each spatial arrangement with 1.11 ha for each replicate) and 2 ha of pasture in full sun (0.33 ha for each replicate).

All managed and SPS pastures were fertilized with 100 kg N/ha and 83 kg K/ha in the 2014/2015 agricultural cycle and 100 kg N/ha, 33 kg K/ha and 21.8 kg P/ha in the 2015/2016 agricultural cycle. All fertilizers were applied in December, except for N, which was divided into 2 applications, with the second dose applied in March 2015 and 2016.

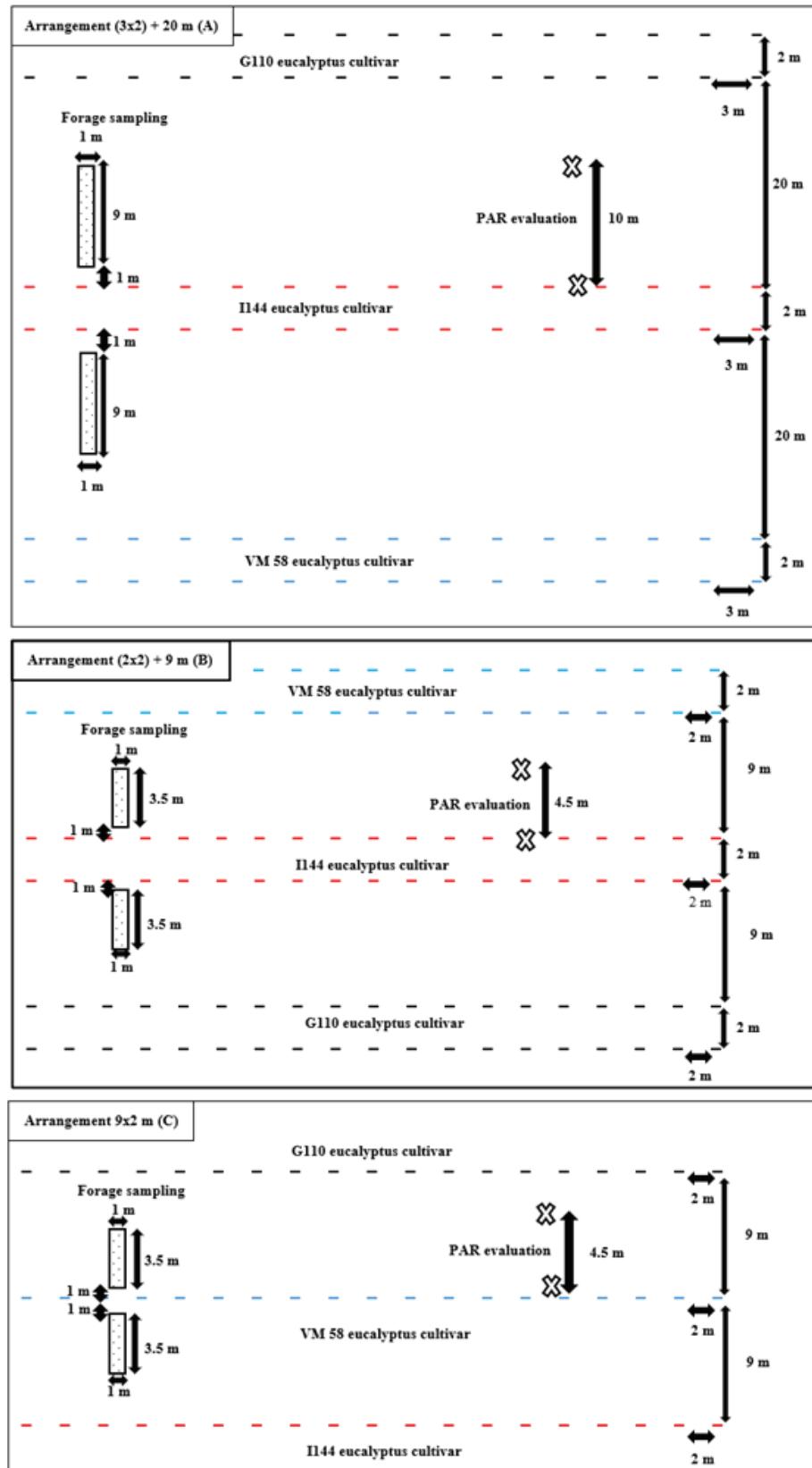


Figure 2. Spacing schematic representation providing light shade (A); denser shade (B) and moderate shade (C) formed by eucalyptus cultivars 'GG100', 'II44' and 'VM 58' in each of 3 blocks indicating areas used for forage sampling and photosynthetically active radiation measurement.

Photosynthetically active radiation

Incident photosynthetically active radiation (PAR) was measured ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) using the indirect method with the SunScan Canopy Analysis System Probe type SS1 (Delta-T Devices Inc). The apparatus was positioned approximately 1 m above the forage canopy parallel to the ground and PAR measurements made on 25 May 2016 (autumn), 2 August 2016 (winter), 25 November 2016 (spring) and 21 February 2017 (summer) with cloud absence certified. Measurements were made at 08:00, 11:00, 13:00 and 16:00 h and the average value was considered as 1 replicate.

In open pastures, measurements were made above the canopy at 3 random points in a homogeneous pasture area and the average was considered the replicate. In SPS, measurements were conducted above the forage under the tree canopy and between the tree rows for each eucalyptus cultivar in each replicate. Measurements between rows were taken midway between the tree rows at 4.5 m from the trees in 57 % and 60 % shade treatments and at 10 m from the trees in the 46 % shade treatment. Measurements were made at 3 points within the plot at the selected distance from the trees and the average was considered as a replicate.

Forage sampling

Leaf area index (LAI) was measured by the indirect method with the SunScan Canopy Analysis System Probe type SS1 (Delta-T Devices Inc) at 12:00 h on an uncloudy day. LAI measurements were conducted at 2 positions within SPS, under the eucalyptus tree canopy and in the central area of the pasture between tree rows following the procedure used for PAR. LAI was not evaluated in winter due to low forage productivity during this period. Pasture height in SPS and full sun plots was measured weekly at 6 points within the sampling area for each treatment and the average was considered the replicate.

Forage sampling was carried out in each replicate in 2013/2014 (cycle 1), 2014/2015 (cycle 2) and 2015/2016 (cycle 3), with 4 cuts in each cycle. Cuts were made on 25 November 2013, 13 January 2014, 24 February 2014, 8 April 2014 (cycle 1); 18 December 2014, 23 January 2015, 13 April 2015, 10 June 2015 (cycle 2); 1 December 2015, 25 January 2016, 21 March 2016 and 24 May 2016 (cycle 3). Sampling in SPS arrangements with 9 m between double rows was carried out in a rectangular area of 1×3.5 m, starting 1 m away from the tree trunk in the inner row and ending 4.5 m away.

In the arrangement with 20 m between double rows of trees, the rectangular sampling area was 1×9 m starting 1 m away from the tree trunk in the inner row and ending 10 m away. Sampling was performed on both sides of the tree double rows (Figure 2) and the average was considered for data analysis.

In full sun pastures, sampling was performed using a 1 m^2 metal quadrat, randomly placed at 4 points. Pastures were cut at 15 cm from the ground in all treatments on the same dates when pasture reached between 30 and 40 cm height in SPS. Pasture from each treatment was harvested and weighed to determine green forage yield/ha. Replicates from each treatment were homogenized and a subsample collected and dried in a forced air circulation oven at 55 °C, ground to 1 mm (Willey type Mill) and used to determine the DM content at 105 °C (AOAC 1995). The average green forage yield (kg/m) and DM were used to calculate total DM yield (kg/ha) in SPS and full sun.

Subsamples of forage collected during the main growing season on 13 January 2014 (cycle 1), 23 January 2015 (cycle 2) and 25 January 2016 (cycle 3) were separated into leaf (lamina and sheath), stem, inflorescence and dead material fractions. These fractions were weighed and DM content determined separately for each as described above (AOAC 1995).

After measurements were taken from random points, the SPS and full sun pastures were grazed by crossbred cattle at a stocking rate of 2 livestock units/ha until the average residual height reached 15 cm. For the first cycle (2013/2014), productivity was not measured due to lack of forage yield at the first cut and only plant fractions percentage (leaf, stem, dead material and inflorescence) were measured.

Pasture nutritional characteristics

Dried whole plant, leaf and stem samples collected for plant fraction analysis were used to determine DM, organic matter (OM), ash, CP and ether extract (EE) content according to AOAC (1995). Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) were determined according to Van Soest et al. (1991) in the Ankom fiber analyzer (Ankom Technology, Macedon, NY).

Statistical analysis

All data were submitted to the Lilliefors and Bartlett tests to verify distribution of normality and homoscedasticity,

respectively. Data were analyzed in random blocks with split-split-plot arrangement with 3 replicates per treatment. For PAR and LAI, spatial arrangement was considered as plot, sampling site within arrangement or eucalyptus cultivar as subplot and season as sub-subplot. For analysis of plant height, dry matter yield (DMY) and plant fractions, spatial arrangements were considered as main plot, eucalyptus clones as subplots and agricultural cycle as sub-subplot (2013/2014, 2014/2015 and 2015/2016 for plant fractions, and 2014/2015 and 2015/2016 for pasture productivity and height, respectively). Subplots (eucalyptus cultivar) were averaged within the respective plot (spatial arrangement) to evaluate season effects. The value obtained was considered as representative of the spatial arrangement. This procedure was used due to a priori statistical analysis indicating absence of significant effects of eucalyptus cultivars on canopy height and dry matter yield of *U. decumbens*. DMY and canopy height data were also analyzed with spatial arrangement as plot, agricultural cycle as subplot and cut as sub-subplot.

For nutritional value variables, spatial arrangement was considered as plot, eucalyptus cultivar as subplot and agricultural cycle (averaged over seasonal cuts) as sub-subplot. To determine cutting season effect, data were analyzed with arrangement as plot, agricultural cycle as subplot and cut as sub-subplot. Analysis of variance was performed and the Student-Newman-Keuls test (SNK) at 5 % probability of error was used to compare treatment means in SPS. Orthogonal contrasts analysis was performed between SPS spatial arrangements and

full sun managed and non-managed pastures (Table 2) with weighting according to Satherthwaite using Fisher's test ($P<0.05$). All analyzes were performed using the R Core Team (2019) software.

Results

Photosynthetically active radiation

Season \times SPS interaction significantly ($P<0.001$) affected PAR. The greatest reduction was observed in summer, with a 62 % lower PAR in SPS (Figure 3). In all treatments, PAR was higher in spring and lower in autumn (1,830 vs. 1,084 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ in full sun and 1,053 vs. 481 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ in the SPS), with reductions of 41 % and 54 %.

Within SPS, the interaction season \times spatial arrangement had significant effect ($P<0.003$) on PAR (Table 3). PAR was 26 % higher in the spring (1,264 vs. 931 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) and 36 % higher in the summer (830 vs. 534 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) in lighter shade compared with denser shade. In all spatial arrangements the highest PAR was observed in the spring.

PAR had significant interaction effects between the location in SPS and spatial arrangement ($P=0.01$) (Table 3). In the arrangement providing denser shade, PAR was 33 % higher between the rows compared with under the tree canopy (1,003 vs. 676 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$). PAR showed no significant difference under the tree canopy in all treatments. PAR was 24 % higher ($P<0.002$) using cultivars 'GG100' (769 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) and 'VM58' (764 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) compared with cultivar 'I144' (618 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$).

Table 2. Orthogonal contrasts for comparison between the SPS level of shade and full sun managed and non-managed pastures.

Level of shade	Eucalyptus Cultivar	Contrast coefficients					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
46 % shaded	GG100	-1	0	0	-1	0	0
	I144	-1	0	0	-1	0	0
	VM58	-1	0	0	-1	0	0
60 % shaded	GG100	0	-1	0	0	-1	0
	I144	0	-1	0	0	-1	0
	VM58	0	-1	0	0	-1	0
57 % shaded	GG100	0	0	-1	0	0	-1
	I144	0	0	-1	0	0	-1
	VM58	0	0	-1	0	0	-1
Full sun managed pasture		3	3	3	0	0	0
Full sun non-managed pasture		0	0	0	3	3	3

C1=comparison between systems with 46 % shade and full sun managed pasture; C2=comparison between systems with 60 % shade and full sun managed pasture; C3=comparison between systems with 57 % shade and full sun managed pasture; C4=comparison between systems with 46 % shade and full sun non-managed pasture; C5=comparison between systems with 60 % shade and full sun non-managed pasture; C6=comparison between systems with 57 % shade and full sun non-managed pasture.

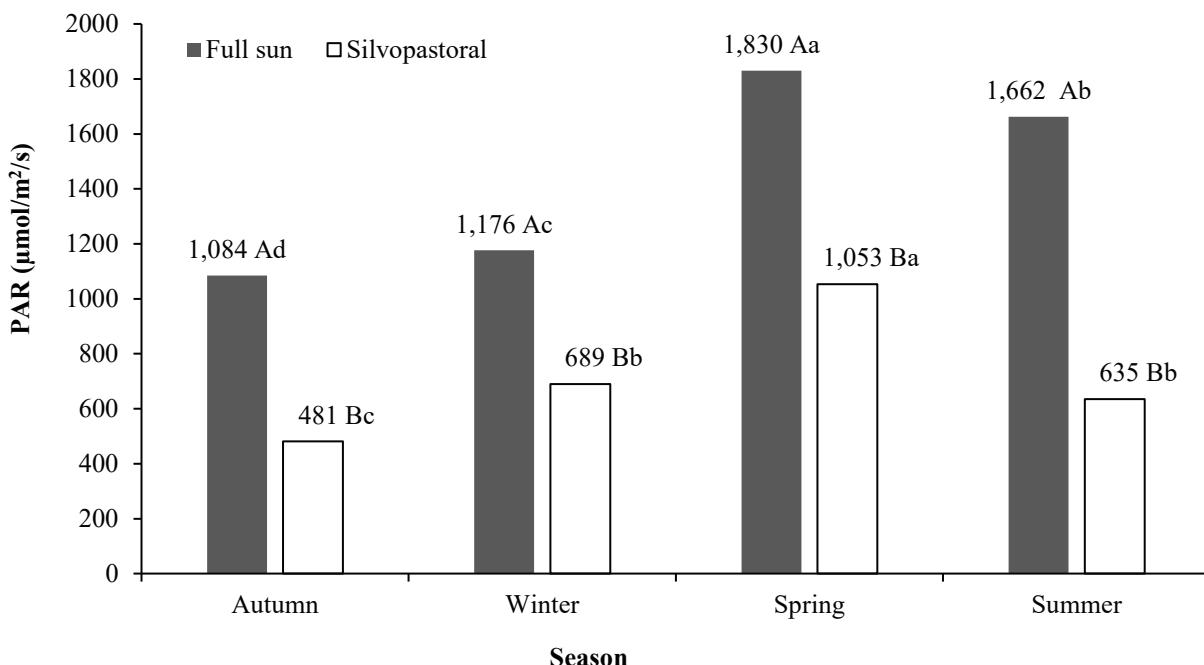


Figure 3. Incident photosynthetically active radiation ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) in *Urochloa decumbens* forage canopy in full sun and silvopastoral system (averaged over cultivars and level of shade). Means followed by different letters, lowercase for season effect within the system and uppercase for system effect within the season, differ by the SNK test. SEM=0.015; P-value<0.001.

Table 3. Photosynthetically active radiation in *Urochloa decumbens* forage canopy in SPS with different *Eucalyptus* cultivars and level of shade according to the season and sampling location.

	Level of shade			SEM	P-value
	46 % shade	60 % shade	57 % shade		
Photosynthetically active radiation with season ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)					
Autumn	533aC	479aB	462aB		
Winter	736aB	666aB	666aB	41.2	0.003
Spring	1,264aA	931bA	964bA		
Summer	830aB	534bB	540bB		
Photosynthetically active radiation with location in the system ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)					
Under tree canopy	676aB	617aA	634aA		
Between tree rows	1,003aA	688bA	682bA	19.5	0.010

Means followed by different letters, lowercase in row and uppercase in column, differ by the SNK test.

Forage sampling

Spatial arrangement, season and cultivar as single effects had significant influence on LAI ($P<0.05$) (Table 4). *U. decumbens* LAI was 58 % higher (0.83 vs. 0.35) in the summer compared with autumn and spring. *U. decumbens* LAI in SPS with cultivar 'I144' (0.40) was 29 % lower compared with other eucalyptus cultivars (0.56). LAI was 28 % higher in the spatial arrangement providing lighter shade compared with that causing denser shade.

In open pastures, LAI was 0.86 on managed pasture and 0.61 on non-managed pasture. LAI was lower in all SPS arrangements, mainly in the denser shade (50 %

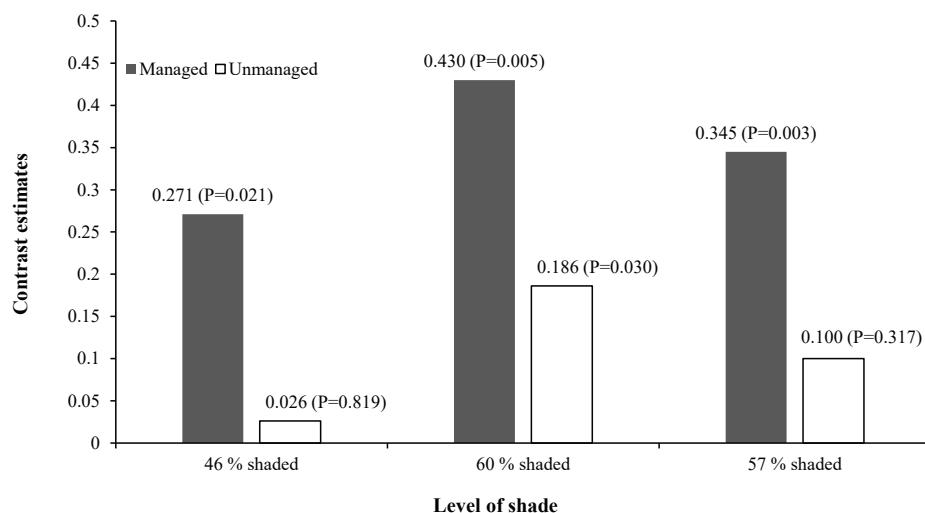
reduction). In contrast to the non-managed pasture, LAI was lower ($P=0.03$) only in the denser shade spatial arrangement (30 % reduction) (Figure 4).

Average pasture canopy height in SPS was higher ($P<0.05$) in 2015/2016 (39.8 cm) compared with 2014/2015 (35.8 cm) and higher in SPS arrangements compared with full sun. The average pasture canopy height in SPS did not vary with arrangement ($P=0.254$) and eucalyptus cultivar ($P=0.358$). There was no interaction effect between cut and shade ($P=0.72$) for canopy height, although there was interaction between agricultural cycle and cut for pasture canopy height in SPS ($P=0.017$). In both periods, lower averages were observed in the last 2 cuts (Table 5).

Table 4. Leaf area index of *Urochloa decumbens* in silvopastoral system with *Eucalyptus* cultivars in different levels of shade according to season or location within SPS.

	Level of shade			SEM	P-value	Average
	46 % shade	60 % shade	57 % shade			
Season						
Autumn (2016)	0.38	0.22	0.32			0.31B
Spring (2016)	0.51	0.25	0.39	0.07	0.73	0.38B
Summer (2017)	0.86	0.79	0.82			0.83A
Location in the SPS System						
Under tree canopy	0.57	0.43	0.52			0.51A
Between tree rows	0.60	0.41	0.50	0.04	0.11	0.50A
Average	0.58a	0.42b	0.51ab			

Means followed by different letters, lowercase in row and uppercase in column, differ by the SNK test.

**Figure 4.** Contrasts estimate between full sun managed or non-managed pastures and level of shade for *Urochloa decumbens* leaf area index in silvopastoral system. The bar values indicate the difference between the means of full sun and SPS pastures and the P value is from Fisher's test.**Table 5.** Canopy pasture height (cm) of *Urochloa decumbens* in silvopastoral system under *Eucalyptus* cultivars in the 2014/2015 and 2015/2016 agricultural cycles.

Agricultural cycles	Cuts				SEM	P-value
	1	2	3	4		
2014/2015	35.5abA	36.5aB	39.6aA	31.5bA	1.21	0.017
2015/2016	39.1bA	45.4aA	41.5bA	33.2cA		

Means followed by different letters, lowercase on the line and uppercase on the column, differ by the SNK test.

The plant leaf percentage showed significant interaction between spatial arrangement and agricultural cycle ($P<0.05$). Leaf percentage was 24 % (34 vs. 45 %) lower in lighter shade in the 2015/2016 agricultural cycle compared with the moderate shade arrangement (Table 6). In all systems, highest leaf percentage was observed in the 2014/2015 agricultural cycle. Stem and inflorescence percentage did not differ between spatial arrangements. Plant dead material percentage was 52 %

higher ($P<0.05$) in lighter shade compared with that under spatial arrangements with 9 meters between rows (12 vs. 8 %) (Table 7).

Leaf percentage in managed and non-managed open pasture was 44 % and 39 % of total grass biomass, respectively. Contrast analysis showed that non-managed pasture had 15 % lower leaf percentage than pastures in SPS with 9 meters between tree rows (39 vs. 46 %). Dead material percentage was 1.12 times lower in SPS with 9 meters between tree rows (16 vs. 8 %) compared with full sun managed pasture and 1.68 times lower in SPS pastures (24 vs. 9 %) compared with full sun non-managed pasture (Table 8). Stem percentage was 40 % in full sun managed pasture and 36 % of total grass biomass in full sun non-managed pasture. Full sun pasture stem percentage was 16 % lower in managed pastures compared with those in SPS (38 vs. 44 %) and 24 % lower in non-managed pastures (36 vs. 44.0 %).

Table 6. Leaf percentage in *Urochloa decumbens* in silvopastoral system with different levels of shade in the agricultural cycles of 2013/2014, 2014/2015 and 2015/2016.

Agricultural cycles	Level of shade			SEM	P-value
	46 % shade	60 % shade	57 % shade		
2013/2014	40.9aB	40.7aB	42.7aB		
2014/2015	49.3aA	50.1aA	50.0aA	1.38	0.021
2015/2016	34.1bC	44.8aAB	44.6aAB		

Means followed by different letters, lowercase in row and uppercase in column, differ by the SNK test.

Table 7. Stem, dead material and inflorescence percentage (DM basis) of *Urochloa decumbens* in silvopastoral system under *Eucalyptus* and varying levels of shade.

Parameter	Level of shade			SEM	P-value
	46 % shade	60 % shade	57 % shade		
% of stem	44.1	43.8	44.1	1.08	0.973
% os dead material	11.7a	8.23b	7.21b	0.20	0.021
% of inflorescence	3.03	2.53	2.84	0.09	0.918

Means followed by different letters differ by the SNK test ($P<0.05$).

Table 8. Leaf and dead material percentages (DM basis) of *Urochloa decumbens* grown in silvopastoral systems with differing eucalyptus level of shade and full sun managed and non-managed pastures.

Parameter	Level of shade	Managed pasture		Non-managed pasture	
		Estimate	P-value	Estimate	P-value
% of leaf	46 % shade	2.28	0.249	-2.71	0.174
	60 % shade	-1.43	0.466	-6.52	0.003
	57 % shade	-2.02	0.305	-7.01	0.001
% of dead material	46 % shade	4.73	0.202	12.6	0.001
	60 % shade	8.20	0.009	16.0	<0.001
	57 % shade	9.22	0.004	17.1	<0.001

The estimate values indicate the difference between the means of full sun and SPS pastures.

U. decumbens annual DMY under SPS was 1.87 and 1.11 times higher in the lighter shade compared with moderate and denser shade (Figure 5B). DMY was 77 % higher in the 2015/2016 cycle compared with the 2014/2015 cycle. There was no interaction effect between cuts and agricultural cycles ($P=0.28$) on DMY. DMY was 62 % higher in the last 2 cuts compared with the first 2 cuts (Figure 5C).

DMY in managed full sun pasture was 10,248 kg DM/ha and in non-managed full sun pasture was 8,476 kg DM/ha. DMY reduced 59 % in SPS under lighter shade, 86 % in SPS under denser shade and 81 % in SPS under moderate shade compared with the full sun managed pasture. In full sun non-managed pasture, the reduction was 50 % in SPS with lighter shade, 83 % in SPS with denser shade and 76 % in SPS with moderate shade (Table 9).

Pasture nutritional characteristics

Whole plant DM, OM, ash, EE and ADL contents of the grass did not differ among the spatial arrangements ($P>0.05$) (Table 10). CP content was 11 % lower ($P<0.05$) in the arrangement with lighter shade (105 g CP/kg)

compared with the other arrangements (118 g CP/kg). NDF was 2 % higher and ADF was 3 % higher in lighter shade compared with other SPS arrangements.

DM content was similar only between full sun managed pasture and SPS with 20 m between rows ($P>0.05$). In all other shade arrangements, lower ($P<0.05$) DM content was observed in SPS pasture compared with full sun pastures, with greater reductions in denser shade in SPS (Table 11). CP content was 21 % higher ($P<0.05$) in SPS with 20 m between rows (105 vs. 87.3 g CP/kg) and 36 % higher in SPS with 9 m between rows (118 vs. 87.3 g CP/kg) compared with full sun managed pasture. Compared with non-managed pasture, CP content was 56 % higher ($P<0.05$) in the SPS with 20 m between rows (105 vs. 67.8 g CP/kg) and 75 % higher in SPS with 9 m between rows (118 vs. 67.8 g CP/kg).

NDF content was 4 % higher ($P<0.05$) in the full sun managed pasture compared with SPS with 9 m between rows (Table 11). NDF content was 4 % lower in the 20 m between rows arrangement and 6 % lower in the 9 m between rows arrangement compared with full sun non-managed pasture.

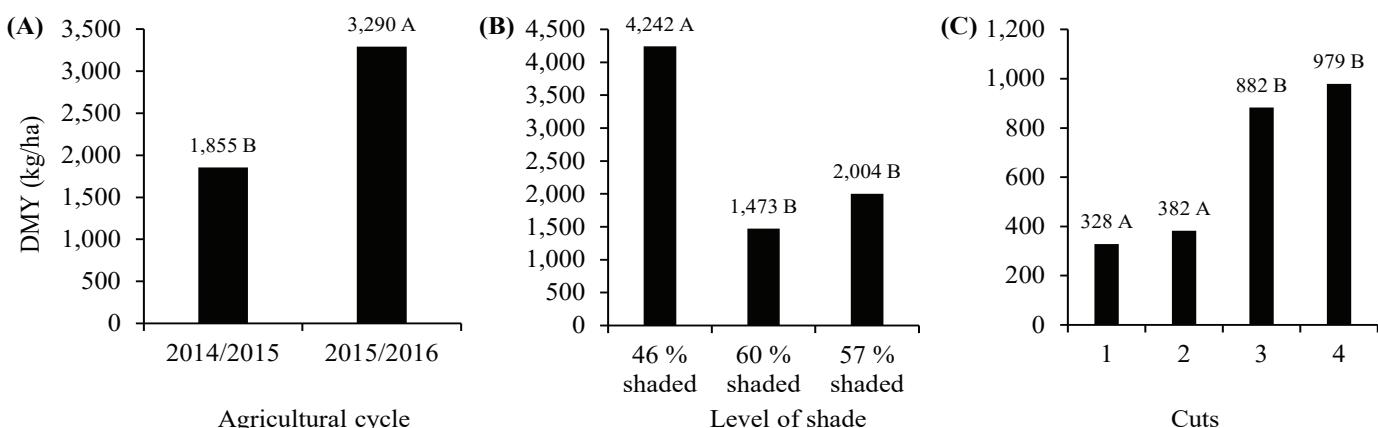


Figure 5. *Urochloa decumbens* annual dry matter yield (kg/ha) in SPS according to the agricultural cycle (A) (SEM=53.4), spatial arrangement (B) (SEM=65.4) and cut (C) (SEM=75.5). Means followed by different letters differ by the SNK test ($P<0.05$).

Table 9. Contrasts estimate between dry matter yield and canopy height in full sun managed and non-managed pasture and silvopastoral systems with different eucalyptus levels of shade.

Parameter	Level of shade	Managed pasture		Non-managed pasture	
		Estimate	P-value	Estimate	P-value
Dry matter yield (kg DM/ha)	46 % shade	6,007	<0.001	4,235	<0.001
	60 % shade	8,776	<0.001	7,004	<0.001
	57 % shade	8,244	<0.001	6,472	<0.001
Canopy height (cm)	46 % shade	-2.40	0.020	-4.20	0.050
	60 % shade	-4.60	0.050	-3.50	0.011
	57 % shade	-2.10	0.033	-1.00	0.045

The estimate values indicate the difference between the means of full sun and SPS pastures.

Table 10. Whole plant nutritional values (DM basis) of *Urochloa decumbens* in silvopastoral system with different tree levels of shade and agricultural cycles.

Parameter	Level of shade			SEM	P-value
	46 % shade	60 % shade	57 % shade		
Dry matter (g/kg)	259	245	242	3.90	0.111
Organic matter (g/kg)	920	916	914	1.30	0.054
Ash (g/kg)	79.0	84.0	85.4	1.30	0.054
Ether extract (g/kg)	15.3	17.4	16.5	0.60	0.245
Crude protein (g/kg)	105b	118a	118a	0.40	<0.001
NDF (g/kg)	698a	683b	683b	2.60	0.025
ADF (g/kg)	369a	359b	360b	2.70	0.011
ADL (g/kg)	44.5	41.5	43.6	0.60	0.065
Agricultural cycle					
	2013/2014	2014/2015	2015/2016		
Dry matter (g/kg)	275a	214c	257b	2.70	<0.001
Organic matter (g/kg)	920a	910b	92.0a	0.80	<0.001
Ash (g/kg)	79.3b	89.2a	80.0b	0.80	<0.001
Ether extract (g/kg)	15.1b	16.6ab	17.5a	1.60	<0.001
Crude protein (g/kg)	109b	125a	108b	1.60	<0.001
NDF (g/kg)	688b	671c	704a	2.80	<0.001
ADF (g/kg)	362b	348c	378a	2.30	<0.001
ADL (g/kg)	35.2c	41.9b	52.5a	0.80	<0.001

NDF=neutral detergent fiber; ADF=acid detergent fiber; ADL=acid detergent lignin. Means followed by different letters in the same row differ according to the SNK test.

Table 11. Contrast estimates for whole plant nutritive value between full sun pastures (managed and non-managed) and the different SPS level of shade.

Level of shade	DM	Ash	EE	CP	NDF	ADF	ADL
Managed pasture for whole plant nutritive value							
46 % shade	0.23ns	-0.34ns	0.17ns	-1.77**	1.60ns	0.86ns	0.28ns
60 % shade	1.61**	-0.84**	-0.04ns	-3.16***	3.09***	1.87**	0.58**
57 % shade	1.98**	-0.98**	0.05ns	-3.15***	3.02***	1.76**	0.37ns
Non-managed pasture for whole plant nutritive value							
46 % shade	4.62**	-0.58**	-0.08ns	-3.76**	2.85**	1.32ns	0.11ns
60 % shade	6.00**	-1.08**	-0.29**	-5.11***	4.34***	2.33**	0.41ns
57 % shade	6.37**	-1.22**	-0.2ns	-5.10***	4.27***	2.22**	0.20ns

DM=dry matter; EE=ether extract; CP=crude protein; NDF=neutral detergent fiber; ADF=acid detergent fiber; ADL=acid detergent lignin; ns=not significant; *=significant at 10 % level; **=significant at 5 % level; ***=significant at 1 % level by Fisher's test. The estimate values indicate the difference between the means of full sun and SPS pastures.

Discussion

PAR reduction of 50 % in all SPS compared with open pastures was expected as reported by Pontes et al. (2018) in SPS with 238 trees/ha and by Geremia et al. (2018) in SPS with 714 trees/ha, both with trees planted in an east-west direction. However, more intense reductions were found by Santos et al. (2016) in SPS with trees planted in a north-south direction. Although tree planting in SPS is best in an east-west direction to reduce shading, in sloping regions planting must be perpendicular to the slope to avoid soil losses due to erosion.

PAR reductions in SPS significantly reduced forage productivity in this study and was also observed by Paula et al. (2013) and Oliveira et al. (2015), but effects on pasture characteristics were not substantial. Pasture yield reduction is the main disadvantage of SPS with high tree density (Santos et al. 2018). In SPS with lower tree densities, reduction in DMY can be compensated by forage nutritional value improvement (Oliveira et al. 2022). Shade provides additional benefits for animal welfare (Giro et al. 2019) and trees also generate income, which can compensate for the reduction in pasture productivity in SPS (Müller et al. 2011). Pezzopane et al. (2019) observed higher PAR at 8.5 m from the tree compared with under the tree canopy and increased PAR 20 m away from the trees can increase photosynthetic rate (Gómez et al. 2012; Paciullo et al. 2016) and pasture yield, indicating that more widely spaced arrangements help to prevent productivity losses in SPS.

LAI is an indirect indicator of pasture productive capacity and pastures planted under shade have more tillers and leaves (Paciullo et al. 2016). Results from this study showed that pastures grown in SPS had significant LAI reductions compared with full sun managed pastures. *U. decumbens* is a semi-erect plant and LAI may be overestimated due to light interception by tillers. Pastures

of *Brachiaria brizantha* cultivar 'Piatã' under the clone H13 (*Eucalyptus urophilla* × *Eucalyptus grandis*) in SPS developed more stem than in full-sun with a 7.2 % reduction in leaves and increase of 6.5 % in the stems (Geremia et al. 2018). Plants growing under shade tend to etiolate, therefore, there may have been less influence of stems on LAI in SPS. Increasing plant height in grass can compensate for reduction in radiation caused by trees (Paciullo et al. 2016). Reduction in LAI under shade in SPS pastures was also observed by Santos et al. (2016), Gómez et al. (2012) and Oliveira et al. (2022). These results are explained by the lower photosynthetic rate in plants growing under shade (Gómez et al. 2012), with consequent lower plant growth. Reductions in plant population in SPS (Paciullo et al. 2016; Gomes et al. 2020) could also explain LAI reduction in denser shade. However, in the study of Gomes et al. (2020), who used distance between groves of 30 m, there was no decrease in leaf productivity between pastures in full sun and under shade, indicating that the spacing used in the present study was too dense and wider spacing should be used to reduce effects of reductions in LAI.

Plants growing under shade may develop compensatory mechanisms to maintain their photosynthetic level, including increasing leaf area (Santos et al. 2016; Gomes et al. 2020), changing shoot/root ratio, increasing chlorophyll b concentrations in leaves and establishing a low light compensation point (Gómez et al. 2012; Guenni et al. 2018). In addition, plants with C4 metabolism, such as *U. decumbens*, have high photosynthetic rates due to lower photorespiration rates even at low light conditions, which results in lower light compensation points. Plants also store carbon in cells in the malic and aspartic acid form, which improve the maintenance of cellular metabolism even when facing light restriction periods (Bjorkman and Berry 1973).

In some tropical regions, pasture-based animal production is maximized in summer by higher light, temperature and water availability. With the

increase in water availability, eucalyptus leaf area and light interception increases ([Stape et al. 2010](#)), intensifying understory shading in denser SPS, reducing photosynthesis and resulting in reduced biomass production. Eucalyptus cultivars differ in canopy morphology and structure affecting PAR, indicating that the choice of cultivar can be an efficient strategy to reduce shading in SPS. PAR intensities in the pastures differed under different tree cultivars but were not sufficient to affect pasture yields, probably because of similar dendrological characteristics among the tree cultivars. LAI of *U. decumbens* under eucalyptus cultivar 'I144' was lower than for other cultivars. Tree aerial structure was not evaluated in the present study, but it suggests that this cultivar had a larger canopy density or diameter, which reduced PAR and LAI. Oliveira et al. ([2015](#)) reported variation of LAI in *U. brizantha* pasture with 5 eucalyptus cultivars. This result suggests it is better to choose cultivars with less robust aerial parts to reduce the impact of shade on pasture development.

Plants in SPS remain in younger ontogenetic stages compared with full sun pasture ([Paciullo et al. 2016](#)), which explains the greater dead material percentage in full sun pasture. Since plants were harvested when pastures in SPS reached between 30 and 40 cm, full sun pastures, which were growing faster, had already reached a more advanced development stage with a greater proportion of dead material. These changes in pasture structural composition have direct impact on grazing dynamics. Geremia et al. ([2018](#)) showed that pasture in SPS has higher stem and lower leaf fraction in higher strata, resulting in a reduction in bite size and increase in bite rate, which can affect animal performance ([Mezzalira et al. 2014; Oliveira et al. 2022](#)).

Reduction in DMY in SPS compared with full sun pastures was also observed by Gómez et al. ([2012](#)) in *U. decumbens* and by Santos et al. ([2016](#)) and Geremia et al. ([2018](#)) in *U. brizantha* cultivar 'Piatã'. This reduction can be attributed to lower PAR resulting in lower plant photosynthesis rate ([Gómez et al. 2012](#)) under higher tree density in SPS and could also have a negative effect on profitability of livestock enterprises. Non-managed pasture yield was higher than SPS pasture yield, indicating low fertilizer use efficiency by forage plants under shade. Although *U. decumbens* in SPS showed lower forage yields, CP content was higher than in open pastures as previously reported by Paciullo et al. ([2016](#)), Santos et al. ([2018](#)) and Gomes et al. ([2020](#)). These increases in CP contents in shaded pastures are linked to increase in soil N content due to litter ([Chatterjee et al. 2018](#)) and lower

nitrogen use efficiency. In addition, delay in the ontogenetic development in shaded areas keeps the plants younger physiologically, which maintains the high cell metabolic rate and lower fiber accumulation ([Paciullo et al. 2016](#)). This may suggest that grass continues to accumulate N in tissues, rather than increasing yield, and indicates the need for further studies on fertilizer management in SPS with the aim of increasing nutrient use efficiency.

CP increase is a positive aspect and may improve individual animal performance in SPS. However, due to high DMY reduction, CP yields are also reduced, which can reduce pasture stocking rate and SPS productivity and profitability. NDF and ADF contents were lower in SPS pasture. Paciullo et al. ([2016](#)) also observed a reduction in NDF in a tropical forage from 652 g/kg in full sun to 642 g/kg with 58 % shade. These lower fiber contents are important because they allow higher intake ([Van Soest 1994](#)), which may improve individual animal performance. The difference in fibrous fractions was not found in other studies ([Santos et al. 2018](#)). Plants growing in SPS have higher stem percentage, which increases fibrous fractions. Delayed ontogenetic development and reduction in cell wall thickness can also reduce fiber contents ([Deinum et al. 1996](#)). Gómez et al. ([2012](#)) reported that leaves growing under low light incidence have less supporting tissue and fewer mesophilic cells per unit area, which can result in thinner leaves with lower fiber content.

Conclusions

SPS with 9 and 20 m between tree rows significantly reduces *U. decumbens* performance. All eucalyptus cultivars used affected PAR, however, there was no effect of eucalyptus cultivar on pasture productivity. In systems that prioritize animal production, spacings between rows greater than 20 m should be used to avoid pasture yield reduction. In experiments that aim to evaluate the effect of trees on SPS, it is necessary to previously evaluate potential variation in transmitted PAR among tree genotypes.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES); the Veterinary School of UFMG, the Minas Gerais State Research Support Foundation (FAPEMIG), the National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ) and the Epamig for the support.

References

- (Note of the editors: All hyperlinks were verified 17 May 2023).
- Alvares CA; Stape JL; Sentelhas PC; Gonçalves JLM; Sparovek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift 22(6):711–728. doi: [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. AOAC International, Arlington, USA.
- Bjorkman O; Berry J. 1973. High-efficiency photosynthesis. Scientific American 229(4):80–93. bit.ly/45de3bt
- Chatterjee N; Nair PR; Chakraborty S; Nair VD. 2018. Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture/Pasture continuum in various agroecological regions: a meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment 266:55–67. doi: [10.1016/j.agee.2018.07.014](https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.014)
- Deinum B; Sulastri RD; Zeinab MHJ; Maassen A. 1996. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *trichoglume*). Netherlands Journal of Agricultural Science 44(2):111–124. doi: [10.18174/njas.v44i2.551](https://doi.org/10.18174/njas.v44i2.551)
- Dias-Filho MB. 2014. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Documentos 402. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, Brazil. bit.ly/42MYPYS
- Geremia EV; Crestani S; Mascheroni JDC; Carnevalli RA; Mourão GB; Silva SC da. 2018. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. Livestock Science 212(June):83–92. doi: [10.1016/j.livsci.2018.03.020](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.03.020)
- Giro A; Pezzopane JRM; Junior WB; Pedroso AF; Lemes AP; Botta D; Romanello N; Barreto AN; Garcia AR. 2019. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. Science of Total Environment 684:587–596. doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.05.377](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377)
- Gomes FJ; Pedreira BC; Santos PM; Bosi C; Pedreira CGS. 2020. Shading effects on canopy and tillering characteristics of continuously stocked palisadegrass in a silvopastoral system in the Amazon biome. Grass and Forage Science 75(3):279–290. doi: [10.1111/gfs.12478](https://doi.org/10.1111/gfs.12478)
- Gómez S; Guenni O; de Guenni BL. 2012. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. Grass and Forage Science 68(3):395–407. doi: [10.1111/gfs.12002](https://doi.org/10.1111/gfs.12002)
- Guenni O; Romero E; Guedez Y; Guenni LB; Pittermann J. 2018. Influence of low light intensity on growth and biomass allocation, leaf photosynthesis and canopy radiation interception and use in two forage species of *Centrosema* (DC). Benth. Grass and Forage Science 73(4):967–978. doi: [10.1111/gfs.12368](https://doi.org/10.1111/gfs.12368)
- Lima MA; Paciullo DSC; Silva FF; Morenz MJF; Gomide CAM; Rodrigues RAR; Bretas IL; Chizzotti FHM. 2019. Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: plant characteristics and feeding value for cattle. Crop and Pasture Science 70(9):814–825. doi: [10.1071/CP19027](https://doi.org/10.1071/CP19027)
- Mezzalira JC; Carvalho PCF; Fonseca L; Bremm C; Cangiano C; Gonda HL; Laca EA. 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. Applied Animal Behaviour Science 153(April):1–9. doi: [10.1016/j.applanim.2013.12.014](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014)
- Müller MD; Nogueira GS; Castro CRT de; Paciullo DSC; Alves FF; Castro RVO; Fernandes EN. 2011. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46(10):1148–1153. doi: [10.1590/S0100-204X2011001000005](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000005)
- Oliveira AF de; Menezes GL; Gonçalves LC; Araújo VE de; Ramirez MA; Júnior RG; Jayme DG; Lana AMQL. 2022. Pasture traits and cattle performance in silvopastoral systems with *Eucalyptus* and *Urochloa*: Systematic review and meta-analysis. Livestock Science 262:104973. doi: [10.1016/j.livsci.2022.104973](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104973)
- Oliveira CHR; Reis GG; Reis MGF; Leite HG; Souza FC; Faria RS; Oliveira FB. 2015. Dynamics of eucalypt clones canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. Agroforestry Systems 90:1077–1088. doi: [10.1007/s10457-015-9884-9](https://doi.org/10.1007/s10457-015-9884-9)
- Paciullo DSC; Gomide CAM; Castro CRT; Maurício RM; Fernandes PB; Morenz MJF. 2016. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. Grass and Forage Science 72(3):590–600. doi: [10.1111/gfs.12264](https://doi.org/10.1111/gfs.12264)
- Paula RR; Reis GG; Reis MGF; Oliveira Neto SO; Leite HG; Melido RCN; Lopes HNS; Souza FS. 2013. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. Agroforestry Systems 87:1295–1307. doi: [10.1007/s10457-013-9638-5](https://doi.org/10.1007/s10457-013-9638-5)
- Pezzopane JRM; Nicodemo MLF; Bosi C; Garcia AR; Lulu J. 2019. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. Journal of Thermal Biology 79:103–111. doi: [10.1016/j.jtherbio.2018.12.015](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015)
- Pontes LS; Barro RS; Savian JV; Berndt A; Moletta JL; Porfirio-da-Silva V; Bayer C; Carvalho PCF. 2018. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: the effect of shade and nitrogen fertilization. Agriculture, Ecosystems and Environment 253:90–97. doi: [10.1016/j.agee.2017.11.009](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.009)
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [R-project.org](https://www.R-project.org)
- Santos DC; Júnior RG; Vilela L; Pulrolnik K; Bufon VB; França AFS. 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in

- the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 233:16–24. doi: [10.1016/j.agee.2016.08.026](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026)
- Santos DC; Júnior RG; Vilela L; Maciel GA; França AFS. 2018. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 266:174–180. doi: [10.1016/j.agee.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017)
- Stape JL; Binkley D; Ryan MG; Fonseca S; Loos RA; Takahashi EN; Silva CR; Silva SR; Hakamada RE; Ferreira JMA; Lima AMN; Gava JL; Leite FP; Andrade HB; Alves JM; Silva GGC; Azevedo MR. 2010. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *Forest Ecology and Management* 259(9):1684–1694. doi: [10.1016/j.foreco.2010.01.012](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012)
- Tonucci RG; Nair PKR; Nair VD; Garcia R; Bernardino FS. 2011. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *Journal of Environmental Quality* 40(3):833–841. doi: [10.2134/jeq2010.0162](https://doi.org/10.2134/jeq2010.0162)
- Torres CMME; Jacovine LAG; Neto SNO; Fraisse CW; Soares CPB; Neto FC; Ferreira LR; Zanuncio JC; Lemes PG. 2017. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Scientific Reports* 7:16738. doi: [10.1038/s41598-017-16821-4](https://doi.org/10.1038/s41598-017-16821-4)
- Van Soest PJ. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Cornell, USA. 476 p.
- Van Soest PJ; Robertson JB; Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10):3583–3597. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- WRB (World Reference Base for Soil Resources). 2006. A Framework for International Classification, Correlation and Communication. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome. bit.ly/3WleWdR

(Received for publication 27 April 2021; accepted 04 May 2023; published 31 May 2023)

© 2023



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales is an open-access journal published by *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, in association with *Tropical Crops Genetic Resources Institute of the Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (TCGRI-CATAS)*. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.