



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

Report on cost-benefit analyses for forage technologies in Colombia

Informe de análisis costo-beneficio de alternativas forrajeras en Colombia



RESEARCH
PROGRAM ON
Livestock



GOBIERNO
DE COLOMBIA



MINAGRICULTURA

CRP: Livestock

Flagship: FP3 – Feeds and Forages

Cluster: 3.4 – Facilitating the delivery and uptake of feed and forage technologies

Activity: P653 – Activity 3.4.1. – Business models seed supply, feed transaction and processing

Deliverables:

D7253 – Cost-benefit analysis for forage technologies in Colombia and Nicaragua

Summary:

This report presents the advances towards cost-benefit analyses for forage technologies in Colombia and Nicaragua made in 2018. Initially, it was planned to conduct one cost-benefit analysis in each country but due to the political unrests in Nicaragua we were unable to start our work there. Instead we focused more on Colombia and conducted cost-benefit analyses for three different new forage technologies in Colombia: *Megathyrus maximus* cv. Agrosavia sabanera in the Caribbean region, *Brachiaria brizantha* cv. Orinoquia in the Eastern Plains region and Cayman+*Leucaena diversifolia* in the Valle del Cauca Department. Part of the results were presented at different international conferences, and are currently in the process of being published in peer-reviewed journals. First, we presented a poster on “Ex-Ante evaluation of the economic impact of adopting improved forages in the Colombian eastern plains” at the Tropentag 2018 international conference: International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, in September in Ghent, Belgium. This poster shows the results of the ex-ante impact and financial evaluation for the variety *Brachiaria brizantha* 26124 cv. Orinoquia. Second, the results of the economic evaluation for the Cayman+*Leucaena diversifolia* arrangement were presented as a poster and oral presentation at the International Leucaena Conference 2018 in Brisbane, Australia in October. The results of this study were prepared as a scientific journal article which was submitted to and accepted for publication by the international journal *Tropical Grasslands-Forrages Tropicales* in the first edition of 2019. In the detailed report below, we explain some of the most important results of the different studies.

Resumen

Este reporte presenta los resultados de investigación del 2018 relacionados con la evaluación económica de diferentes materiales forrajeros en Colombia, estos son: *Megathyrus maximus* cv. Agrosavia sabanera en la región Caribe, *Brachiaria brizantha* cv. Orinoquia en la región de los llanos Orientales y el arreglo Cayman+*Leucaena diversifolia* en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. Parte de los anteriores resultados fueron presentados en diferentes congresos a nivel internacional, así como para publicación en revista. En primer lugar se presenta el poster denominado: *Ex-Ante evaluation of the economic impact of adopting improved forages in the Colombian eastern plains*, presentado en la conferencia internacional *Tropentag 2018: International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development*, llevada a cabo el 17, 18 y 19 de septiembre en Ghent, Bélgica. En este poster se encuentran los resultados de evaluación financiera y de impacto ex ante para la variedad *Brachiaria brizantha* 26124 cv. Orinoquia. En segundo lugar, se presentaron los resultados de la evaluación económica para el arreglo Cayman+*Leucaena diversifolia* como póster y presentación oral en la Conferencia Internacional de Leucaena 2018, durante el 29 de octubre al 2 de noviembre en UQ Briscane, Australia. Los anteriores

resultados también se presentaron en forma de artículo científico para publicar en una edición especial de la revista *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, la cual fue aprobada y se encuentra en estos momentos en revisión del editor de la revista.

Supporting documents:

Enciso, Karen; Sotelo, Mauricio; Peters, Michael; Burkart, Stefan. The inclusion of *Leucaena diversifolia* in Colombian cattle systems: An economic perspective. Accepted for publication in 2019 in *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*.

Enciso, Karen; Charry, Andrés; Sotelo Cabrera, Mauricio Efren; Burkart, Stefan. (2018). Ex-Ante evaluation of the economic impact of adopting improved forages in the Colombian eastern plains. Poster presented at Tropentag International Conference 2018, Ghent, Belgium. <https://hdl.handle.net/10568/97079>

Enciso, K., Sotelo, M., Peters, M., Burkart, S. (2018). The inclusion of *Leucaena diversifolia* in Colombian cattle systems: An economic perspective. Poster presented at the International Leucaena Conference November 13-2018, Brisbane, Australia. <https://hdl.handle.net/10568/97880>

Enciso, K., Sotelo, M., Peters, M., Burkart, S. (2018). The inclusion of *Leucaena diversifolia* in Colombian cattle systems: An economic perspective. Oral presentation at the International Leucaena Conference November 13-2018, Brisbane, Australia. <https://hdl.handle.net/10568/97863>

Detailed report:

Ex-Ante evaluation of the economic impact of adopting improved forages in the Colombian eastern plains

Enciso, Karen; Cherry, Andrés; Sotelo, Mauricio; Burkart, Stefan
International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Tropical Forages Program. CONTACT: s.burkart@cgiar.org

Introduction

- Forage-based cattle systems play a key role in rural economies of developing countries in terms of food security and poverty alleviation.
- However, they are often related to being a major cause of negative environmental impacts by contributing to increased greenhouse gas (GHG) emissions, land degradation, and reduction of biodiversity.
- Large amounts of resources have been allocated to research and development (R&D) for forage material improvement and a broad range of improved materials were released showing superior characteristics in terms of productivity and environmental impacts.
- However, data are still scarce on both the economic and environmental "yields" of these investments.

Objective

Through an ex-ante evaluation, this study aims at estimating the potential "yields" of the investment in R&D of the improved forage variety *Bracharia brizantha* 26124 in the Eastern Plains region of Colombia.

Methodology

Location: Eastern Plains of Colombia (departments of Arauca, Casanare, Meta and Vichada).

Technology to be evaluated: *B. brizantha* 26124. Identified as promising material given its adaptation to acid soils, high forage production and high palatability. This technology was compared to a base scenario with *Bracharia decumbens* and *Bracharia humidicola* in a bovine meat production system.

Data sources: Field measurements; expert consultations; secondary data and literature review

The analysis used two evaluation methodologies:

- To determine the impact on a productive unit**
A discounted free cash flow model and a Monte Carlo simulation were carried out with the simulation software @Risk.
 - 5,000 simulations and confidence level 95%
 - Random variables: live weight gain per animal and year, investment costs, maintenance costs, purchase price per kg of live weight, and sales price per kg of live weight.
- To determine the potential social benefits of the evaluated technology and their distribution among producers and consumers**
An economic surplus model was developed and a sensitivity analysis was carried out, considering changes in adoption rates and productivity levels.
 - B. brizantha* 26124 allows changes per hectare in animal productivity between +16% and +31% compared to the base scenario (live weight gains per animal: 332 kg/ha/yr versus 274 kg/ha/yr).
 - The maximum expected adoption rate for the base scenario was 2.22% at regional and 2.8% at national level.
 - Elasticity of supply and demand: 0.7 and 1.17, respectively.
 - Estimated R&D costs: US\$ 412,409.
 - Discount rate: 12%.
 - R&D period: 2011-2015, as part of a project financed by the Colombian Ministry of Agriculture and Rural Development (MADR) and executed by AGROSAVIA and CIAT (see acknowledgements).
 - Year of variety release: 2019.

Results

1. Private investor economic evaluation

Compared to the base scenario, the adoption of the variety allows for:

- Avg. yearly increases of 39% in gross income and 225% in net income.
- Reducing the risk of economic loss by 80%

Table 1: Performance indicators of the economic evaluation

Decision criteria	Indicator	<i>B. brizantha</i> 26124	Base scenario
NPV	Mean ^a	US\$324	(US\$231)
	SD ^b	US104	US\$140
	CI (06%) ^c	(US\$102)-US\$60	(US\$231)-US\$163
	Prob. NPV>0 ^d	10.81%	6.47%
IRR	Mean	25%	16%
	CI (06%)	12%-30%	6%-24%
Cost/Benefit ratio ^e	Mean	1.07	0.96
	CI (06%)	0.06-1.18	0.87-1.03

^aMean value of the NPV obtained through the simulation (5,000 repetitions); ^bStandard Deviation with regard to the NPV mean value; ^cMinimum and maximum values for a confidence interval of 66%; ^dProbability of the NPV being below 0 with regard to the NPV mean value; ^eQuotient between the benefits and discounted costs.

2. Economic surplus model

Table 2: Results of the economic surplus model (US\$ in thousands)

Indicator	Regional level	National level
	Base scenario ^a	
NPV	2,319	16,604
IRR	26%	30%
	Optimistic scenario ^b	
NPV	6,188	42,776
IRR	33%	48%
	Pessimistic scenario ^c	
NPV	621	3,108
IRR	18%	28%

^aMaximum adoption rate of 2.22% at regional and 2.8% at national level is assumed and as both levels a probability of increase of 80% and an increase in productivity of 0%. ^bMaximum adoption rate of 3.3% at regional and 4.2% at national level is assumed and as both levels a probability of increase of 100% and an increase in productivity of 31%. ^cMaximum adoption rate of 1.1% at regional and 1.4% at national level is assumed and as both levels a probability of increase of 50% and an increase in productivity of 10%.

Composition of the total surplus: 63% producer and 37% consumer

Figure 2: Heat map for the sensitivity the IRR (total surplus basis) with respect to changes in the adoption rate and productivity level.

Change in productivity	Adoption rate (Regional level)					Adoption rate (National level)				
	0	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%
10%	0.16	0.19	0.22	0.23	0.26	0.25	0.29	0.32	0.34	0.38
15%	0.18	0.22	0.24	0.26	0.27	0.27	0.32	0.36	0.37	0.39
20%	0.19	0.23	0.26	0.28	0.29	0.29	0.34	0.37	0.39	0.41
25%	0.21	0.25	0.27	0.29	0.31	0.31	0.36	0.39	0.41	0.43
30%	0.22	0.26	0.29	0.31	0.32	0.32	0.37	0.40	0.43	0.46

Increases of 1% in the max. adoption rate and 5% in productivity with respect to the baseline scenario, result in increases of the profitability indicators of more than 10% and 8%, respectively.

Conclusions

- B. brizantha* 26124 proved to be an alternative to improve production efficiency and profitability of livestock farms.
- From a social point of view, it was found that if adopted, the increase in productivity of *B. brizantha* 26124 could generate a displacement in the meat supply, which would be associated with important economic benefits at the regional and national levels.
- The potential success of the technology depends mainly on productivity and adoption rate. It is therefore key to develop an adequate accompanying mechanism during the release process, in order to provide cattle producers with sound extension strategies and training programs that focus e.g. on pasture sowing and maintenance. It is also key that adequate dissemination mechanisms are being established through a well-functioning seed system.

Acknowledgements

This work was undertaken as part of the Proyecto "Innovación y desarrollo de materiales forrajeros para integrar a los sistemas de producción ganadera de la Orinoquía" and "Formación para mejorar la competitividad y sostenibilidad de los sistemas de producción de leche en carne en el Caribe Colombiano, Caribe Surco, Valle Interandino, Orinoquía y proyecto piloto colombiano". We acknowledge financial support from the Colombian Ministry of Agriculture and Rural Development and the National Center for Research and Innovation (CIRA). This work was done as part of the CGIAR Research Program on Livestock. We thank all donors that globally support our work through their contributions to the CGIAR system.

References

Alston JM, Norton GW, Pardey PL (2002). Science under scrutiny: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting. Cornell University Press, Ithaca, USA. <https://doi.org/10.1007/978-0-7920-2867-1>

Logos: CIAT, AGROSAVIA, MADR, CIRA, CODESA, MINAGRICULTURA, TROPENTAG 2018

Figure 1. Poster presented at Tropentag 2018: International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development <https://hdl.handle.net/10568/97079>

The inclusion of *Leucaena diversifolia* in Colombian cattle systems: An economic perspective

Enciso, Karer; Sotelo, Mauricio; Peters, Michael; Burkart, Stefan
International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Tropical Forages Program. CONTACT: s.burkart@cgiar.org

Introduction

- » The forage-based cattle sector plays a key role in tropical food production, food security and poverty alleviation.
- » But it is also associated with causing negative environmental impacts, e.g. greenhouse gas emissions, land degradation, deforestation, pollution and water depletion, loss of biodiversity.
- » Improvements in animal feeding and sustainable intensification are considered to be among the most promising strategies for mitigating these impacts.
- » The inclusion of forage legumes in cattle production systems has the potential to increase yield, efficiency and nutritional value of the forage, with less environmental impact.
- » But adoption and use of forage legumes by the producers remain limited due to economic factors, the lack of knowledge and limited perceived benefits by the producer, and aspects associated with risk aversion and uncertainty.

Objective

To evaluate the profitability of including *L. diversifolia* in the Colombian cattle production system, in comparison with a grass monoculture.

Methodology

Data source: Monthly field measurements carried out by the International Center for Tropical Agriculture (CIAT) in Palmira, Valle del Cauca, Colombia, between August 2014 and August 2015.

Evaluated diets: T1 *Brachiaria* hybrid cv. CIAT BR 02/1752 (Cayman) monoculture (100%), and T2 Cayman-*L. diversifolia* association in a proportion of 70%/30% (2,000 *L. diversifolia* plants/ha).

Table 1: Animal response data of T1 and T2.

Variable	T1		T2	
	(Mean ± SD)	CV (%)	(Mean ± SD)	CV (%)
Carrying capacity (LSU/ha)	3.38		4.04	
Weight gain (g/animal/d)	440 ± 41	9.3	667 ± 73	11.2
Animal productivity (kg/ha/y)	723 ± 88*		1078 ± 120*	
Time to reach sales weight (months) ¹	18		12	

LSU: 450 kg animal SD: standard deviation. *Statistically different at 1% significance level (P<0.01). ¹Period of time required to bring a calf with an average weight of 200 kg to a sales weight of 450 kg.

Economic, risk and sensitivity analyses

- » A discounted cash flow model for the estimation of financial profitability indicators was developed and a quantitative risk analysis carried out by running a Monte Carlo simulation (software @Risk).
- » Three pasture persistence scenarios and the following variables were randomly combined: live weight gain per animal and year, investment costs, maintenance costs, sales price per kg of live weight, and purchase price per kg of live weight.
- » Sensitivity and scenario analyses were carried out to identify those variables with the strongest effects on the profitability indicators.



Results

- » Establishment costs of T2 are 80% higher than of T1.
- » The evidenced animal productivity indicators for T2 allowed average annual increases per hectare of 66% in gross income and 119% in net profit, when compared to T1.

Table 2: Summary of profitability indicators of the simulation model.

Decision criteria	Indicator	T1	T2				
Scenarios	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
	Mean ¹	128	81	3681	2413	2224	2044
	SD ²	440	428	398	601	671	562
	CV	3.40	7.02	4.08	0.34	0.25	0.27
	CI (95%) ³	(728; 904)	(788; 906)	(888; 684)	(261; 3488)	(1068; 3268)	(664; 3061)
IRR	Mean	20%	10%	17%	24%	23%	23%
	CI (95%)	11%-20%	10%-28%	8%-28%	18%-20%	18%-28%	17%-28%
Benefit/Cost ⁴	Mean	1.01	1.01	0.90	1.16	1.16	1.14
	CI (95%)	0.04-1.08	0.93-1.08	0.02-1.08	1.08-1.22	1.07-1.22	1.06-1.21
Payback period (years)	Mean	6	6	6	4	4	4
	CI (95%)	3-8	3-8	3-8	3-4	3-4	3-4
Min. area (ha) ⁵	Mean	6.00					

Scenarios were determined by considering three annual degradation rates that decrease the total forage supply and therefore the carrying capacity for T1 at 15, 0.5, 25, 0.5% and 0% DCR, and for T2 at 15, 0.4, 25, 0.5%, and 0% DCR, respectively.
¹Mean value of the NPV obtained for the simulation 5,000 iterations and confidence level of 95%. ²SD: Standard deviation of the NPV with respect to the mean value. ³CI: Minimum and maximum values in a 95% confidence interval. ⁴Quotient between benefits and discounted costs. ⁵Minimum area required for two basic Colombian steers in two years (T1 CBS-US\$270).

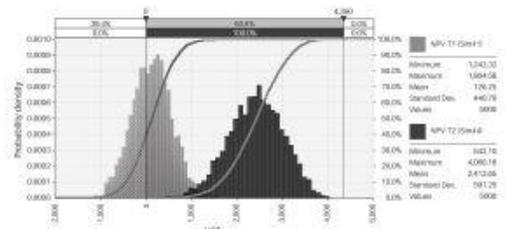


Figure 1: Probability and cumulative density distributions for the NPV for T1 and T2.

- » The probability of obtaining no financial feasibility reduces from 39.4% in T1 to 0% in T2.
- » The profitability is affected mainly by two variables: the animal productivity and the sales price per kg of live weight.

Conclusions

- » *L. diversifolia* has significant potential to increase both animal productivity and profitability, under different scenarios of animal productivity and market conditions, which is conducive to the sustainable intensification of meat production in grazing systems.
- » The inclusion of *L. diversifolia* comes along with a reduction of the risk of economic loss and less variance to changes in critical variables. This is key to encourage adoption, since farmers, being naturally rather risk adverse, will most likely favor technologies with a relatively lower variance.
- » The establishment of grass-legume association should be accompanied by specific training and extension programs that overcome the lack of knowledge and experience in the use of tropical forage legumes. This will reduce uncertainties associated with technology adoption and increase adoption rates.
- » The access to and structure of necessary financial resources (e.g. credits) needs to be improved in order to provide the required framework for technology adoption.

References

- San M, Peters M, Castro A, Schotzko-Krahl R, Jhabal T. 2015. Livestock/For - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. Tropical Grasslands Forages Tropical: 329-402. DOI: 10.17723/TGF.329-402
- Schotzko-Krahl R, San M, Peters M, Clemente RJ, Bai C, Liu Q. 2016. Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. Tropical Grasslands Forages Tropical: 61-74. DOI: 10.17723/TGF.61-74
- Shelton M, DeJong S. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. Tropical Grasslands 41:174-190

Acknowledgements

The work was done as part of the CGIAR Research Program on Livestock. We thank all donors that globally support our work through their contributions to the CGIAR system.



Figure 2. Poster presented at the International Leucaena Conference 2018
<https://hdl.handle.net/10568/97880>

The inclusion of *Leucaena diversifolia* in a Colombian cattle systems: An economic perspective

Incluyendo Leucaena diversifolia en un sistema de producción ganadera en Colombia: Una perspectiva económica

Running title: *Economics of a Leucaena diversifolia-grass association*

KAREN ENCISO, MAURICIO SOTELO, MICHAEL PETERS AND STEFAN BURKART

Tropical Forages Program, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Colombia

Correspondence: S. Burkart, Tropical Forages Program, International Center for Tropical Agriculture, Colombia. Email: s.burkart@cgiar.org

Abstract

Despite the great potential of legumes in cattle production, their adoption and use throughout the tropical world remain limited. While this is largely attributed to factors such as limited knowledge or access to credit, lack of information on the viability and profitability of the technology can influence the adoption decision. The objective of this study is to evaluate the profitability of including *Leucaena diversifolia*, accession ILRI 15551 in a Colombian beef cattle production system. For this purpose, we use data from a grazing experiment comparing a grass-legume association (*Brachiaria* hybrid cv. Cayman and *L. diversifolia*) with a grass monoculture (cv. Cayman) in the Valle del Cauca Department, both with the purpose of beef production. We use a discounted cash flow model, developed with the simulation software @Risk, which considers inherent risk and uncertainty factors in these types of rural investment projects, under three different pasture degradation scenarios. The results indicate that the inclusion of *L. diversifolia* is financially profitable and substantially improves the associated risk and performance indicators. Profitability indicators increased in a range of 15–110%, and the probability of suffering economic losses decreased from 72% to 0%. The results were directly related to the increases in animal productivity (49%) and efficiency resulting from including the legume. This work shows that *L. diversifolia* has significant potential to increase both animal production and profitability, which is conducive to the sustainable intensification of beef production in grazing systems.

Keywords: Grass-legume systems, Monte Carlo simulation, risk analysis, shrub legumes, sustainable intensification.

Resumen

A pesar del gran potencial de las leguminosas para la producción ganadera, su adopción y uso siguen siendo limitados. Mientras que esto se atribuye en gran medida a factores como el conocimiento limitado o el acceso al crédito, también la información faltante sobre la viabilidad y rentabilidad de la tecnología puede influir en la decisión de adopción. Este estudio tiene como objeto evaluar la rentabilidad de la inclusión de *Leucaena diversifolia* accesión ILRI 15551, en un sistema de producción de ganado de carne, basado en el pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman (Cayman), en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. Se usaron datos de un experimento de pastoreo para comparar la asociación Cayman-*L. diversifolia* con el monocultivo de Cayman. Se aplicó la metodología de flujo de caja libre descontado y un análisis de simulación Monte Carlo en el software de simulación @Risk, con el fin de incluir los factores de riesgo e incertidumbre en las variables identificadas como críticas, bajo tres escenarios de persistencia de las pasturas. Los

Figure 3. Screenshot of the research paper accepted by *Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales*

Resultados de investigación evaluación económica alternativas forrajeras Colombia

1. Materiales y Métodos

1.1. Fuente de datos

Información productiva variedad *Brachiaria brizantha* CIAT 26124

Los datos de productividad de la variedad *B. brizantha* CIAT 26124 cv. Orinoquia se obtuvieron de evaluaciones en campo llevados a cabo por AGROSAVIA en conjunto con CIAT en la zona de los Llanos Orientales de Colombia. Específicamente las evaluaciones se realizaron en la estación experimental Taluma y el Centro de Investigaciones Carimagua, bajo condiciones de la Altillanura bien drenada con temperaturas medias y precipitación anual de 26°C y 2500 mm respectivamente. La productividad del tratamiento fue calculada como el promedio de la ganancia acumulada de peso a lo largo de un año, bajo un sistema de levante y ceba de ganado bovino. Estas mediciones se realizaron de forma mensual entre 2011 y 2015 a seis grupos de novillos de ganado mestizo en pastoreo. Los animales pastorearon bajo un diseño rotacional con 14 días de ocupación y 28 días de descanso.

La información asociada con la tecnología tradicional se obtuvo por medio de fuentes secundarias, como lo fueron documentos y artículos de investigación de AGROSAVIA con información sobre evaluaciones en campo de la zona de estudio. Para este caso, el escenario base consiste en el uso de la pastura en monocultivo *B. decumbens*, la cual fue introducida y usada masivamente en el país hacia 1970 (Rincón et al., 2010). El estudio supone prácticas de manejo adecuadas en términos de fertilización y rotación, con el fin de no sobreestimar los beneficios asociados a la adopción de la nueva variedad. Los datos productivos fueron validados con expertos de CIAT y AGROSAVIA.

Información productiva variedad *Megathyrsus maximus* Cv. Agrosavia sabanera

Los datos productivos de la variedad *Megathyrsus maximus* Cv. Agrosavia sabanera se obtuvieron de evaluaciones de campo llevados a cabo por AGROSAVIA en la zona del Caribe húmedo de Colombia. Específicamente las evaluaciones se realizaron en el Centro de Investigaciones Turipaná durante cuatro ciclos de ceba (2013-2017). Adicionalmente, se obtuvieron datos de AGROSAVIA en ensayos de fincas localizadas en zonas de sabanas del departamento de Córdoba (Chinú) del 2014 al 2015.

Como tecnología tradicional a modo de comparación se usó la gramínea naturalizada Colosuana (*Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus). Esta pastura se ha difundido ampliamente en suelos de la Región Caribe, dada su abundante producción de semilla y rusticidad, desplazando a especies introducidas como angetón, puntero y guinea (Uribe, 1998). Los datos de productividad para dicha especie se obtuvieron por medio de un estudio realizado por AGROSAVIA durante 2010-2011, en el cual se evaluaron diferentes alternativas de manejo para las pasturas de Colosuana en sistemas ganaderos del trópico bajo (Corpoica, 2011). Los datos de Colosuana se suponen bajo prácticas de manejo adecuadas en términos de fertilización (50 kg de N/ ha año) y rotación (Corpoica, 2011), con el fin de no sobreestimar los beneficios asociados a la adopción de la nueva variedad.

Información productiva arreglo *Cayman+leucaena diversifolia*

Los datos usados en este estudio se obtuvieron de la evaluación en campo de la pastura cayman (*Brachiaria* híbrido BR 02/1752) y del arreglo cayman + leucaena, realizadas por el programa de forrajes tropicales en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Palmira - Valle del Cauca, Colombia. Su clasificación ecológica según Holdridge corresponde zona de bosque húmedo pre montano (bh-P), ubicado a 1001 m sobre el nivel del mar y su temperatura media, humedad relativa y la precipitación

anual es de 23.8°C, 75% y 1045 mm, respectivamente. La productividad de los tratamientos fue calculada como el promedio de la ganancia acumulada de peso a lo largo de un año, bajo un sistema de levante y ceba de ganado bovino. Estas mediciones se realizaron de forma mensual entre agosto del 2014 y agosto del 2015 a 10 novillos de ganado mestizo en pastoreo, con una edad de 12 meses y un peso promedio de 210 kg por animal (SD±25) al inicio y de 416 kg /animal (SD±28) al finalizar el año de evaluación.

Información costos de establecimiento y manejo

Los costos de establecimiento y manejo de las tecnologías a evaluar se calcularon usando la información económica recopilada durante el establecimiento de los ensayos, la cual fue ajustada con la ayuda de expertos de forrajes y ganadería según las condiciones de producción en una finca típica ganadera. Los precios se actualizaron a 2018 de acuerdo a los boletines de precios del Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA) y bases de datos de la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN).

1.2. Características de las tecnologías a evaluar

- Brachiaria brizantha CIAT 26124

El cultivar Orinoquia es una nueva alternativa forrajera proveniente directamente de la accesión *Brachiaria brizantha* CIAT 26124, la cual fue recolectada en Karuzi (África) en 1985. La recolección de este material fue realizada por investigadores del CIAT en colaboración con técnicos de ISABU, la institución nacional de investigación de Burundi (África) (Peters et al., s.f.). La evaluación agronómica y de respuesta animal fue realizada bajo el convenio interinstitucional AGROSAVIA-CIAT (2011-2015). Los resultados de dichas evaluaciones permitieron identificar al cultivar Orinoquia como material promisorio para la producción ganadera en la región de los Llanos Orientales, dado su amplio rango de adaptación a suelos ácidos, alta producción de biomasa y palatabilidad (M. Sotelo, comunicación personal, 17 de mayo, 2018). No obstante, esta nueva variedad puede ser ampliamente adoptada en otras regiones de Colombia dado su gran rango de adaptación a climas y suelos, esto es, a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo, así como en localidades con suelos de mediana a buena fertilidad (Peters et al., s.f.). A continuación, se presenta el resumen de los principales indicadores productivos de la nueva especie a liberar, así como los asociados al escenario base en la región a modo de comparación:

Tabla 1. Producción de materia seca, calidad nutricional y respuesta animal de las pasturas evaluadas.

Parámetro	Variable	<i>B. brizantha</i> CIAT 26124		Escenario base ¹	
		(Media ± DE)	CV. (%)	(Media ± DE)	CV. (%)
Producción biomasa	Ton MS/ha/año	12		8.25	
Calidad nutricional	Proteína Cruda (% MS)	5-6 (Época seca)		7-8	
		8-10 (Época lluviosa)			
Respuesta animal	Carga Animal (UGG)	1.78		1.78	
	Ganancia de peso (gr/animal/día)	452 ±46	12	294 ± 43	5.47
	Productividad animal (kg/ha/año)	332 ±42*		274 ± 15*	
	Periodo de levante y ceba (meses) ²	18		24	

UGG: 450 kg/animal; * Diferencias estadísticamente significativas $P < 0.001$. ¹ Valor promedio obtenido en la región para las pasturas *B. decumbens*, según estudios presentados en Rincón et al., (2010); ² Periodo de tiempo requerido para llevar un animal de peso promedio 200 kg a un peso de venta de 450 kg.

Estas mediciones muestran que la adopción de *B. brizantha* CIAT 26124 aumenta el forraje total disponible en un 45% y el contenido de proteína en un 46% respecto al escenario base. Lo anterior se refleja en los resultados de respuesta animal, donde la mayor ganancia de peso fue para la *B. brizantha* CIAT 26124 cv. Orinoquia con un promedio de 332 kg/ha/año, mientras que en el escenario base fue de 294 kg/ha/año, diferencias que fueron estadísticamente significativas ($p < 0.01$). De acuerdo a los datos de ganancia de peso día, el periodo de levante y ceba hasta alcanzar el peso final de venta (de 200 kg a 450 kg) fue de 18 meses para el cultivar Orinoquia y 24 meses para el escenario base. Cabe anotar que, de los dos tratamientos, la mayor variabilidad en la respuesta animal fue para el nuevo material, medida por los indicadores de desviación estándar (D.E.) y el coeficiente de variación (CV.).

- *Megathyrus maximus* cv. Agrosavia sabanera

El cultivar Agrosavia Sabanera es una nueva alternativa forrajera proveniente directamente de la accesión *Megathyrus maximus* recolectada en 1983. La evaluación agronómica, calidad nutricional, producción de semilla y de respuesta animal se iniciaron en 2007 en los centros de investigación Turipaná (Cereté, Córdoba) y Motilonia (Agustin Codazzi, Cesar) de Agrosavia. Los resultados de dichas evaluaciones permitieron identificar al cultivar Agrosavia sabanera como un material promisorio para la zona dado su alta producción de forraje, excelente calidad nutricional y abundante producción de semilla (Mejia et al. 2018). A continuación, se presenta el resumen de los principales indicadores productivos de la nueva especie a liberar, así como los asociados al escenario base en la región a modo de comparación:

Tabla 2. Producción de materia seca, calidad nutricional y respuesta animal de las pasturas evaluadas.

Parámetro	Variable	<i>M. maximus</i> cv. Agrosavia sabanera	Escenario base ²
		(Media ± DE)	(Media ± DE)
Calidad nutricional	Proteína Cruda (% MS)	11-15	5-12
	DIVMS (%)	57.8-60.6	70
Respuesta animal	Carga Animal (UGG)	2	2
	Ganancia de peso (gr/animal/día)	612	546
	Productividad animal (kg/ha/año)	892.8±183	583

Estas mediciones muestran que el cultivar Agrosavia sabanera mejora el contenido de proteína cruda respecto al escenario base. Lo anterior se refleja en los resultados de respuesta animal, donde la mayor ganancia de peso fue para el cultivar Agrosavia sabanera con un promedio de 892. 8 kg/ha/año, mientras que en el escenario base fue de 583 kg/ha/año. Adicionalmente, la nueva variedad, según Mejia et al. (2018) presenta tolerancia al sombrero, lo cual permite que pueda ser utilizada en sistemas silvopastoriles, en comparación a la pastura del escenario base (Piñeros, Tobar, & Delgado, 2011)

- Arreglo Cayman+ *leucaena diversifolia*

Las dietas evaluadas fueron 100% Cayman (T1) y la asociación Cayman + leucaena en una proporción 70%-30% respectivamente (T2). Para T2 se establecieron 2.000 plantas de leucaena por hectárea, las cuales

fueron distribuidas en franjas dobles separadas entre sí por una distancia de 8 metros. Cada franja consta de dos surcos separados a una distancia de 1.5 metros, y entre plantas de un metro. Cada tratamiento consto de tres repeticiones con un área de 3.300 m² cada una, las cuales fueron subdivididas mediante cinta eléctrica en parcelas de 1.100 m². Los animales pastorearon bajo un diseño rotacional con 18 días de ocupación y 36 días de descanso por repetición. Los dos tratamientos iniciaron con una carga animal de 2.3 UGG (UGG=450 kg) y finalizaron el primer año de evaluación con 3.36 UGG para T1 y 4.04 UGG para T2. Las mediciones realizadas en el año uno se presentan a continuación:

Tabla 3. Producción de materia seca, calidad nutricional y respuesta animal de los tratamientos evaluados.

Parámetro	Variable	T1		T2	
		(Means ± S.E.)	C.V (%)	(Means ± S.E.)	C.V (%)
Producción biomasa ¹	Ton MS/ha/año	22.5		32.2	
Calidad nutricional ²	Proteína Cruda (PC) (%)	6.7		8.25 (Cayman) 26.7 (<i>L. diversifolia</i>)	
	DIVMS (%)	65.56 ± 3.12		64.9 (Cayman) 58.6 % (<i>L. diversifolia</i>)	
Animal response	Carga Animal (UGG/ha)	3.36		4.04	
	Ganancia de peso (gr/animal/día)	440 ± 41	9.3	657 ± 73	11.2
	Productividad animal (kg/ha/año)	723 ± 68*		1078 ± 120*	
	Periodo de levante y ceba (meses) ³	18		12	

Digestibilidad in Vitro de la materia seca (DIVMS); UGG: Animal de 450 kg; C.V: Coeficiente de variación; *diferencias estadísticamente significativas $p < 0.01$.¹Se determinó aplicando el método de aforo aleatorio para estimación de forraje verde y materia seca; ² La determinación de PC y DIVMS se realiza aplicando la norma AOAC 984.13; ³Periodo de tiempo requerido para llevar un ternero con peso promedio de 200 kg a un peso de venta de 450 kg.

1.3. Enfoque metodológico análisis costo-beneficio

El análisis costo-beneficio se basó en un modelo de flujo de caja libre descontado para la estimación de los indicadores de rentabilidad financiera capaces de medir la viabilidad de los diferentes modelos: tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), relación beneficio/costo (B/C) y período de recuperación de la inversión (PRI). Dicha evaluación se realizó con base en los principios establecidos por Park (2007) para cada indicador. Este análisis tiene sentido cuando la comparación se hace entre una tecnología tradicional y una novedosa. De esta forma es posible determinar cuáles son los cambios en costos e ingresos asociados a la nueva tecnología.

El modelo incluye una categorización sistemática de los costos variables y los beneficios asociados con los dos tratamientos evaluados en un suelo típico de la región particular de estudio. Específicamente, las siguientes categorías de costos por hectárea han sido consideradas: costos totales de establecimiento, renovación y mantenimiento de cada tratamiento, costos de oportunidad del capital durante el periodo de establecimiento de los tratamientos y costos de operación (compra de animales, sanidad animal, suplementación, personal fijo y ocasional). Por otro lado, los beneficios se derivan de la producción de carne en un sistema de levante y ceba de ganado, según los indicadores de respuesta animal obtenidos (Tabla 1, 2 y 3). Adicionalmente, para la construcción del flujo de caja se supone un horizonte de evaluación de 10 años de acuerdo a la vida útil de las pasturas (Holmann & Estrada, 1997), precios constantes, flujos

ajustados al ciclo de levante y ceba de cada tratamiento y una tasa de descuento del 10% anual ajustada a dichos ciclos.

Análisis cuantitativo de riesgos

Hampton (1982) define el riesgo como: "la posibilidad de que el retorno real de una inversión sea menor que el retorno esperado" (p. 104). Por ello, el riesgo se asocia a la variabilidad de los flujos de beneficios y costos del proyecto, y por tanto de los rendimientos (por ejemplo de un cultivo, una cosecha, etc.) (Roura & Cepeda, 1999). A medida que aumenta la variabilidad el grado de riesgo aumenta, lo cual se ve reflejado en la aleatoriedad de las principales variables proyecto, de manera tal, que cada acción tiene un conjunto de resultados posibles estimados en función de su probabilidad de ocurrencia (Roura & Cepeda, 1999). Por otro lado, la incertidumbre se puede definir como la falta de conocimiento acerca del valor de un parámetro, o de los factores que determinan el comportamiento de un proceso (Ordoñez, 2015). Por lo cual no es posible calcular la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno. Se identifican fuentes básicas de Incertidumbre la información incompleta inexacta, sesgada, falsa o contradictoria. Los factores de riesgo e incertidumbre se ven reflejados en la aleatoriedad de los flujos de cada periodo, y como los indicadores de evaluación de proyectos, por ejemplo el VPN y la TIR, se calculan a partir de estos flujos, entonces estos indicadores serán también variables aleatorias. Por tanto, en el modelo de flujo de caja construido con los valores esperados y con los cuales se obtienen los indicadores de rentabilidad tradicionales no es suficiente, ya que bajo incertidumbre este indicador es una variable aleatoria.

Para incluir por tanto niveles de riesgo e incertidumbre y considerar diferentes escenarios, se realizó un análisis cuantitativo de riesgos mediante simulación Montecarlo en el software @Risk (Paladise Corporation). El modelo implica identificar las variables de entrada aleatorias y definir una distribución de probabilidad para cada una, las cuales se ajustaron según su comportamiento empírico, literatura o basado en entrevistas de expertos. En la simulación se asignan aleatoriamente valores de las variables identificadas como críticas, de acuerdo a sus funciones de distribución de probabilidad, para posteriormente calcular los indicadores de rentabilidad determinados (salidas del modelo). Este proceso se repite numerosas veces para obtener las distribuciones de probabilidad de dichas salidas y nivel de riesgo (Gráfico 4) (Park, 2007).

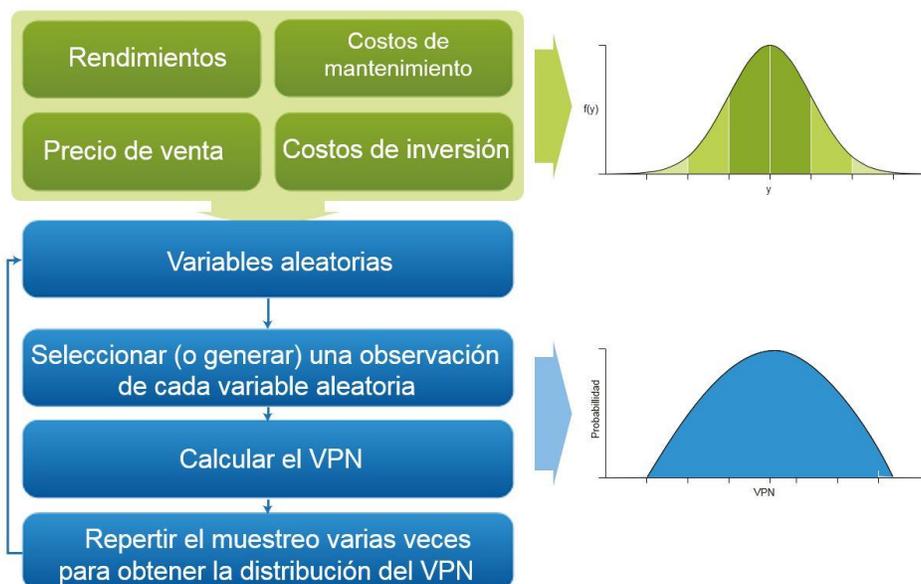


Gráfico 4. Secuencia lógica de una simulación Monte Carlo para obtener la distribución de probabilidad de VPN para un proyecto de inversión. Fuente: Adaptado de Park, (2007)

Se realizaron 5.000 simulaciones o iteraciones, donde se combinaron aleatoriamente las variables de: ganancia de PV por animal día, costos de inversión, costos de mantenimiento, y precio por kg de PV a la venta. La simulación utilizó un nivel de confianza del 95%. Las distribuciones de probabilidad para las variables de entrada se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribuciones de probabilidad y valores de los parámetros de las variables de entrada y factores de riesgo.

Variable	Distribución	Tratamiento	Parámetros			Ajuste de distribución	Aleatoriedad
			p1	p2	p3		
Ganancia de peso (kg/animal/año)	Pert (a,b,c)	<i>B. brizantha</i> CIAT 26124	120	165	182	Juicio del investigador de acuerdo a la disponibilidad de datos y comportamiento de la variable según literatura (Gutiérrez, et al., 2009).	Interacción entre variables de decisión (e.g. tipo de alimentación) y no controladas (e.g. condiciones climáticas).
		<i>B. decumbens</i>	98	123	135		
		<i>Agrosavia sabanera</i>	167	223	265		
		Colosuana	70	115	161		
		Cayman	139	161	174		
		Cayman+leucaena	205	239	268		
Precio carne PV venta (\$/kg)	Lognormal (μ,σ)		4.599	140		Basado en el mejor ajuste de datos históricos sin tendencia, utilizando el criterio de información Akaike (AIC; Akaike 1974).	Varia por factores asociados a la oferta y demanda del mercado
Costos de establecimiento (\$/ha)	Triangular (a,b,c)	<i>B. brizantha</i> 26124	1.297.512	1.441.680	1.585.848	Esta distribución se recomienda para especificar situaciones que implican costos e inversiones.	Varían dependiendo del lugar específico donde se realice el establecimiento. Por ejemplo, la cantidad de labranza y nivel de fertilización adecuados está determinado por la estructura, textura, contenido de minerales del suelo, antecedentes del potrero y el régimen de lluvias de la región (Rincón & Caicedo, 2010)
		<i>B. decumbens</i>	1.284.012	1.387.680	1.569.348		
		<i>Agrosavia sabanera</i>	1.062.864	1.180.960	1.358.104		
		Colosuana	400.000	415.500	600.000		
		<i>Cayman</i>	1.640.800	1.929.200	2.223.200		
		<i>Cayman +Leucaena</i>	2.634.800	3.096.800	3.561.600		
Costos de mantenimiento (\$/ha)	Triangular (a,b,c)	<i>B. brizantha</i> 26124 y <i>B. decumbens</i>	448.020	497.800	547.580		
		<i>Agrosavia sabanera</i>	1.062.864	1.180.960	1.358.104		
		Colosuana	400.000	415.500	600.000		
		Cayman	375.200	414.800	456.400		
		Cayman+leucaena	285.600	319.200	344.400		

a,b,c: valor mínimo, más probable y máximo. Parámetros de la distribución triangular y pert.

Como criterios de decisión se utilizan los valores medios y las variaciones de los indicadores de rentabilidad resultado de la simulación, así como la probabilidad de éxito (VPN > 0). El uso del criterio de valor medio se basa en la ley de los grandes números, la cual establece que si se realizan muchas repeticiones de un experimento, el resultado promedio tenderá hacia el valor esperado (Park, 2007). Adicionalmente, se realizó un análisis de sensibilidad mediante un diagrama de tornado, el cual perturba cada variable para medir el impacto de cada una sobre la varianza en el resultado del modelo, con el fin de identificar dentro de las variables definidas como críticas, aquellas con mayores efectos sobre los indicadores de rentabilidad.

2. Resultados

2.1. *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia

En la Tabla 6 se presentan los principales resultados asociados a los costos e ingresos por hectárea para la pastura *B. brizantha* CIAT 26124 cv. Orinoquia en la región de los Llanos Orientales, así como del escenario base. Los costos de inversión para ambos tratamientos incluyen el establecimiento de la pastura, la instalación de cercas y la compra de animales. Dentro de los costos directamente relacionados al establecimiento de la pastura, el monto total fue en promedio de \$1.434.180 para ambos tratamientos, siendo un 1% mayor en la nueva variedad asociado a la mayor densidad de siembra. Respecto a la participación de los rubros en el costo de establecimiento, el mayor peso lo tienen la compra de insumos (73.8%), seguido del uso de maquinaria (21.5%), y por último mano de obra (4.7%). Dentro de los insumos, los fertilizantes y correctivos tienen la mayor participación con el 68%, dada la necesidad de aplicar grandes cantidades de estos para acondicionar las propiedades químicas del suelo, a causa de la baja fertilidad, alta saturación de aluminio y acidez característicos de la región. Para mantener los niveles de productividad de las pasturas, se supone un mantenimiento adecuado en términos de fertilización, control de arvenses y rotación para ambos tratamientos. El mantenimiento se realiza cada dos años con un costo por hectárea de \$497.800. Por otra parte, los ingresos estuvieron dados por la venta de animales para carne con un peso promedio de 450 kg. Como resultado de los mejores indicadores de respuesta animal de la *B. brizantha* CIAT 26124, el ingreso bruto promedio año se incrementó en un 42%, la utilidad neta en un 197% y el costo de producción por kg de carne se redujo en un 19%, respecto al escenario base.

Tabla 5. Costos e ingresos de la *B. brizantha* CIAT 26124 y escenario base en los Llanos Orientales.

Parámetro	<i>B. brizantha</i> 26124	Escenario base
Costos de inversión año 1		
Establecimiento pasturas (\$/ha)	1.441.680	1.426.680
Cerca eléctrica (\$/ha) ¹	2.104.650	2.104.650
Compra de animales (\$/ha)	1.520.000	1.520.000
Costos de operación		
Costos mantenimiento pasturas (\$/ha)	497.800	497.800
Mano de obra permanente (promedio /ha/año) ²	563.548	536.713
Salud animal (promedio /ha/año)	34.932	33.269
Suplementación (promedio/ha/año) ³	71.894	68.471
Ingreso bruto (promedio/ha/año)	3.334.058	2.351.976
Costo unitario de producción (\$/kg)⁴	3.440	4.090
Utilidad neta (promedio /ha/año)⁵	866.759	291.069

¹ Cerca eléctrica para un sistema de pastoreo rotacional; ² Estimados: 2.5 empleos permanentes requeridos por cada 100 animales en un sistema de levante y ceba de ganado, y un salario mínimo legal vigente más prestaciones a 2018 de COP \$1.313.605; ³ Suplementación con sal mineralizada a una tasa de 100 gr / animal / día para ambos tratamientos; ⁴ se obtiene al dividir el costo total del producto entre la producción total; ⁵ Ingreso total (precio de venta x rendimiento) menos los costos totales de producción.

Indicadores de Rentabilidad

El resumen de los principales resultados financieros de la simulación para las dos tecnologías evaluadas se presenta en la Tabla 7. Bajo los supuestos usados en este modelo, el uso de *B. brizantha* CIAT 26124 demuestra ser financieramente rentable y permite mejorar todos los indicadores de riesgo y desempeño respecto al escenario base. Para la nueva variedad, el modelo arroja un VPN medio de COP 675.570, con una tasa interna de retorno a los recursos propios del 19%. Cabe resaltar que los mayores indicadores productivos para *B. brizantha* CIAT 26124 permiten reducir los requerimientos de tierra para sostener una familia, pasando de 16,79 a 14,06 hectáreas, así como disminuir el periodo de recuperación de la inversión de seis a cinco años.

Tabla 6. Indicadores de rentabilidad modelo de simulación.

criterio de decisión	Indicador	<i>B. brizantha</i> CIAT 26124	Escenario base
VPN	Estático ¹	939.278	2.367
	Medio ²	675.570	(64.868)
	Desviación ³	549.091	395.092
	IC (95%) ⁴	(848.432)-2.106.106	(1.136.901)-1.009.308
TIR	Medio	19%	15%
	IC (95%)	10%-28%	5%-24%
Relación Beneficio/Costo ⁵	Medio	1,05	0,95
	IC (95%)	0,94-1,14	0,87-1,03
PRI (Años) ⁶	Medio	5	6
	IC (95%)	4-6	4-6
Área Mínima (Hectáreas) ⁷	Medio	14,06	16,79

¹ Valor obtenido antes de realizar la simulación; ² Valor medio del VPN obtenido en la simulación (5.000 iteraciones); ³ Desviación estándar del VPN respecto al valor medio; ⁴ Valor mínimo y valor máximo en un intervalo de confianza (IC) del 95%; ⁵ Cociente entre los beneficios y costos descontados; ⁶ Número de años necesarios para recuperar la inversión inicial; ⁷ Hectáreas mínimas para obtener un ingreso de dos salarios mínimos.

Con respecto a la probabilidad de no obtener factibilidad financiera de las pasturas evaluadas, la Gráfico 5 muestra las distribuciones para el indicador de VPN, las cuales reflejan la amplitud de la variación para el indicador de VPN. Para las pasturas evaluadas en el escenario base, el indicador puede tomar valores negativos cercanos a \$2.457.567 y valores positivos cercanos a \$1.459.638, con una probabilidad de obtener valores negativos de 83%. Para la nueva variedad, la mejora en la productividad permite un desplazamiento hacia la derecha de la curva de distribución, reduciendo la probabilidad de pérdidas al 8.6%, con un rango que varía entre -\$1.972.102 y \$3.588.033.

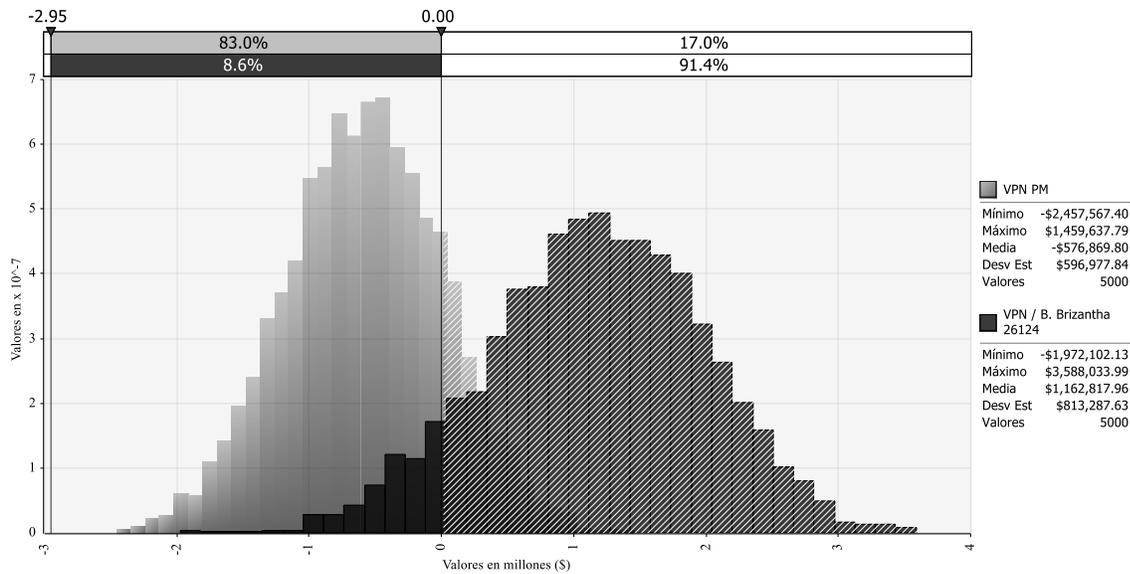


Gráfico 5. Distribución de probabilidad y densidad acumulada para el indicador VPN para los tratamientos evaluados.

La contribución de las variables de entrada a la varianza del VPN se muestra en los gráficos de tornados de la Gráfico 6. Los coeficientes de correlación calculados entre los valores de entrada y la varianza del VPN muestran que la rentabilidad se vio afectada principalmente por dos variables: la productividad animal y el precio de venta por kg de peso vivo. Los aumentos de dichas variables tienen un efecto positivo en la variabilidad del pronóstico del indicador de la siguiente manera: cambios en la variable de productividad animal modifican la varianza del indicador en 51,24% y 59,43% para nueva variedad y el escenario base, respectivamente. Del mismo modo, los cambios en el precio de venta por kg de peso vivo conducen a cambios en la varianza de 46,86% y 39%.

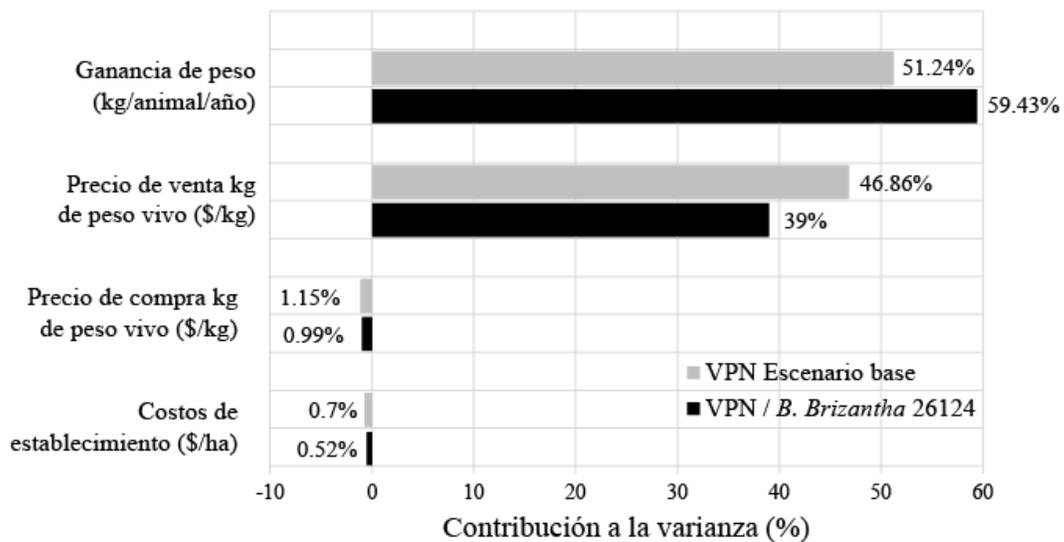


Gráfico 6. Distribución de probabilidad y densidad acumulada para el indicador VPN para los tratamientos evaluados.

Las dos variables identificadas en el anterior análisis se estudian de forma individual mediante un análisis de mapa de calor, donde se realizan cambios simultáneos en ambas variables y se identifican los cambios en el indicador VPN para la nueva variedad. Los valores más bajos son más rojos, los valores más altos son más verdes; y el percentil 50 de los valores de VPN son de color amarillo. Bajo el precio de referencia (\$4.600 /kg), niveles de productividad animal por debajo de 0,280 Ton /ha/año (equivalentes a una ganancia de 140 kg/animal/año) resulta no rentable. Del mismo modo, bajo la productividad base de 165 kg/animal/año, un precio por debajo de COP \$ 4.211 resulta no rentable.

		Precio de venta kg en pie (\$/kg)								
		4,000	4,100	4,200	4,300	4,400	4,500	4,600	4,700	4,800
Productividad animal (kg/animal/año)	110	(3,493,694)	(3,193,315)	(2,892,937)	(2,592,558)	(2,292,179)	(1,991,801)	(1,691,422)	(1,391,043)	(1,090,665)
	120	(2,999,921)	(2,687,198)	(2,374,475)	(2,061,752)	(1,749,029)	(1,436,306)	(1,123,583)	(810,860)	(498,137)
	130	(2,506,148)	(2,181,080)	(1,856,013)	(1,530,946)	(1,205,878)	(880,811)	(555,744)	(230,676)	94,391
	140	(2,012,375)	(1,674,963)	(1,337,551)	(1,000,140)	(662,728)	(325,316)	12,095	349,507	686,919
	150	(1,518,601)	(1,168,845)	(819,089)	(469,333)	(119,577)	230,179	579,935	929,691	1,279,447
	160	(1,024,828)	(662,728)	(300,628)	61,473	423,573	785,673	1,147,774	1,509,874	1,871,974
	170	(531,055)	(156,610)	217,834	592,279	966,724	1,341,168	1,715,613	2,090,058	2,464,502
	180	(37,282)	349,507	736,296	1,123,085	1,509,874	1,896,663	2,283,452	2,670,241	3,057,030
	190	456,491	855,625	1,254,758	1,653,891	2,053,025	2,452,158	2,851,291	3,250,425	3,649,558

Gráfico 7. Mapa de calor de sensibilidad del VPN (Escenario base) con respecto a cambios en el precio de venta y el nivel de productividad

2.2. *Megathyrus maximus* cv. Sabanera

En la Tabla 8 se presenta el resumen de los principales costos e ingresos asociados a las pasturas evaluadas. Los costos de inversión para ambos tratamientos incluyen el establecimiento de la pastura, la instalación de cercas y la compra de animales. Dentro de los costos directamente relacionados al establecimiento de la pastura, el monto total fue de \$1.180.960 para la variedad Agrosavia sabanera y de 415.500 para la Colosuana. El establecimiento de la Colosuana se refiere a un pase de arado y cincel para acondicionar las propiedades físicas del suelo, y una fertilización con N a razón de 50 kg /ha. Para la variedad Agrosavia sabanera, el mayor peso dentro de los costos de establecimiento lo tienen la compra de insumos (47%), seguido del uso de maquinaria (44%), y por último mano de obra (8.5%). Dentro de los insumos, la compra de semilla botánica tiene la mayor participación con el 99%. Para mantener los niveles de productividad de las pasturas, se supone un mantenimiento adecuado en términos de control de arvenses y rotación para ambos tratamientos.

Por otra parte, los ingresos estuvieron dados por la venta de animales para carne con un peso promedio de 450 kg. Como resultado de los mejores indicadores de respuesta animal de la variedad Agrosavia sabanera, el ingreso bruto promedio año se incrementó en un 200% y el costo de producción por kg de carne se redujo en un 18%, respecto al escenario base con Colosuana.

Tabla 7. Costos e ingresos de las pasturas evaluadas

Parámetro	Agrosavia sabanera	Colosuana
Costos de inversión		
Establecimiento pasturas (\$/ha/año 1)	\$ 1.200.643	\$ 415.500
Cercas (\$/ha/año 1)	\$ 1.672.600	\$ 1.672.600
Abrevaderos	\$ 270,000	\$ 270,000
Costo de oportunidad establecimiento	\$ 476,476	\$ 0
Costos de operación		
Costos mantenimiento pasturas (\$/ha)	\$ 100,000	0
Mano de obra permanente (\$ promedio/ha/año)	\$ 1,576,326	\$ 788.163
Salud animal (\$ promedio /ha/año)	\$ 19,400	\$ 9700
Suplementación (\$ promedio/ha/año)	\$ 121,910	\$ 60.955
Compra de animales (\$/ha/año ¹)	\$ 3,873,667	\$ 958.417
Arrendamiento de tierra (\$ promedio/ha/año)	\$ 500,000	\$ 500,000
Ingreso bruto (\$ promedio/ha/año)	\$ 7,503,054	\$ 2.446.648
Costo unitario de producción (US\$/kg)	\$ 3,857	\$ 4.713
Utilidad neta (US\$ promedio /ha/año)	\$ 973,575	\$ (155.380)

¹ Cerca eléctrica para un sistema de pastoreo rotacional; ² Estimados: 2.5 empleos permanentes requeridos por cada 100 animales en un sistema de levante y ceba de ganado, y un salario mínimo legal vigente más prestaciones a 2018 de COP \$1.313.605; ³Suplementación con sal mineralizada a una tasa de 100 gr / animal / día para ambos tratamientos; ⁴se obtiene al dividir el costo total del producto entre la producción total; ⁵ Ingreso total (precio de venta x rendimiento) menos los costos totales de producción.

Indicadores de Rentabilidad

El resumen de los principales resultados financieros de la simulación para las dos pasturas evaluadas se presenta en la Tabla 9. Bajo los supuestos usados en este modelo, el uso de *M. maximus* cv. Agrosavia sabanera demuestra ser financieramente rentable y permite mejorar todos los indicadores de riesgo y desempeño respecto al escenario base con Colosuana. Para la nueva variedad, el modelo arroja un VPN medio de COP 1.657.256, con una tasa interna de retorno a los recursos propios del 14%.

Tabla 8. Indicadores de rentabilidad modelo de simulación.

Criterio de decisión	Indicador	Agrosavia sabanera	Colosuana
VPN	Estático ¹	1.917.260	(3.574.562)
	Medio ²	1.657.256	(3.506.795)
	Desviación ³	2.493.565	976.504
	IC (95%) ⁴	(3.067.737)-6.696.580	(5.150.879)-(1.612.383)
TIR	Medio	14%	N.D
	IC (95%)	2-27%	N.D
Relación Beneficio/Costo ⁵	Medio	6.55	0.86
	IC (95%)	2.81-24.72	0.77-0.94
PRI (Años) ⁶	Medio	5	9
	IC (95%)	3-9	9-10

¹ Valor obtenido antes de realizar la simulación; ²Valor medio del VPN obtenido en la simulación (5,000 iteraciones); ³Desviación estándar del VPN respecto al valor medio; ⁴ Valor mínimo y valor máximo en un intervalo de confianza (IC) del 95%; ⁵Cociente entre los beneficios y costos descontados; ⁶ Número de años necesarios para recuperar la inversión inicial; ⁷ Hectáreas mínimas para obtener un ingreso de dos salarios mínimos.

Con respecto a la probabilidad de no obtener factibilidad financiera de las pasturas evaluadas, la Gráfico 8 muestra las distribuciones para el indicador de VPN. Para la pastura Colosuana, el indicador puede tomar valores negativos que fluctúan entre -5.814.382 y 479.986, con un 100% de probabilidades de obtener perdidas. Para la nueva variedad, la mejora en la productividad permite un desplazamiento hacia la derecha de la curva de distribución, reduciendo la probabilidad de pérdidas al 26%, con un rango que varía entre - \$5.344.332 y \$10.427.801. Otro factor con gran impacto en los resultados económicos es la persistencia de la pastura. Esto es, cuando se supone un factor de reducción de la carga animal del 1% y 3% anual para la nueva variedad, la probabilidad de tener pérdidas económicas asociadas se incrementa en un 17 % y 34% respectivamente.

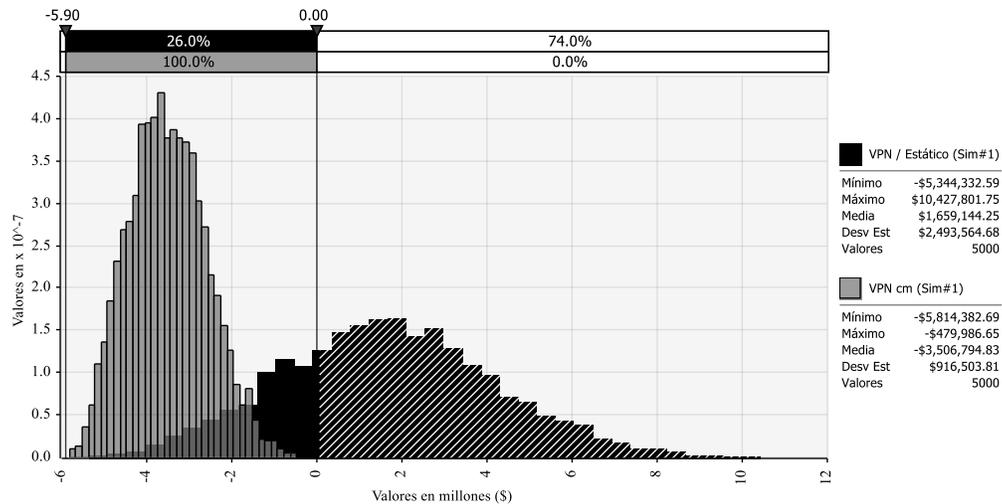


Gráfico 8. Distribución de probabilidad y densidad acumulada para el indicador VPN para los tratamientos evaluados

La contribución de las variables de entrada a la varianza del VPN se muestra en los gráficos de tornados de la Gráfico 9. Los coeficientes de correlación calculados entre los valores de entrada y la varianza del VPN muestran que la rentabilidad se vio afectada principalmente por dos variables: la productividad animal y el precio de venta por kg de peso vivo. Los aumentos de dichas variables tienen un efecto positivo en la variabilidad del pronóstico del indicador de la siguiente manera: cambios en la variable de productividad animal modifican la varianza del indicador en 73,17% y 63,85% para nueva variedad y el escenario base, respectivamente. Del mismo modo, los cambios en el precio de venta por kg de peso vivo conducen a cambios en la varianza de 26.69% y 35.99% para la nueva variedad y escenario base, respectivamente.

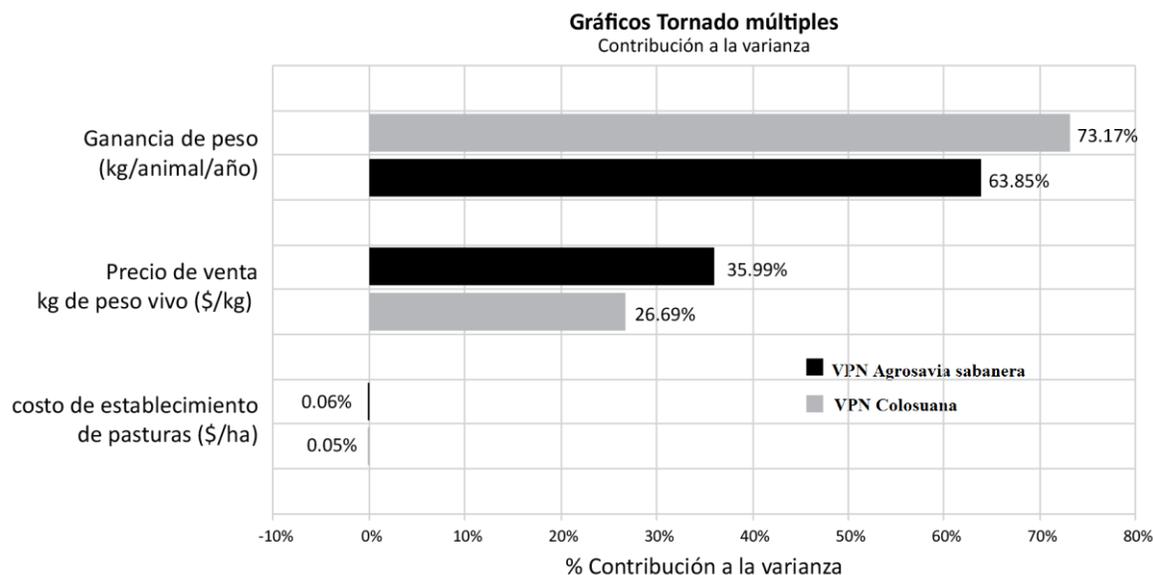


Gráfico 9. Gráfico de tornado múltiple que muestra la contribución de las variables aleatorias sobre la varianza del NPV

Las dos variables identificadas en el anterior análisis se estudian de forma individual mediante un análisis de mapa de calor, donde se realizan cambios simultáneos en ambas variables y se identifican los cambios en el indicador VPN para la nueva variedad. Los valores más bajos son más rojos, los valores más altos son más verdes; y el percentil 50 de los valores de VPN son de color amarillo. Bajo el precio de referencia (\$4.600 /kg), niveles de productividad animal por debajo de 0,400 Ton /ha/año (equivalentes a una ganancia de 200 kg/animal/año) resulta no rentable. Del mismo modo, bajo la productividad base de 223 kg/animal/año, un precio por debajo de COP \$ 4.300 resulta no rentable.

		Precio de venta kg en pie (\$/kg)									
		\$1,892,365	4000	4100	4200	4300	4400	4500	4600	4700	4800
Ganancia de peso (Kg/animal/año)	160		-8,609,925	-7,747,147	-6,884,368	-6,021,590	-5,158,811	-4,296,033	-3,433,254	-2,570,476	-1,707,697
	170		-7,639,338	-6,752,295	-5,865,251	-4,978,208	-4,091,165	-3,204,122	-2,317,079	-1,430,036	-542,992
	180		-6,668,751	-5,757,443	-4,846,135	-3,934,827	-3,023,519	-2,112,211	-1,200,904	-289,596	621,712
	190		-5,698,163	-4,762,591	-3,827,018	-2,891,446	-1,955,873	-1,020,301	-84,728	850,844	1,786,417
	200		-4,727,576	-3,767,739	-2,807,902	-1,848,065	-888,227	71,610	1,031,447	1,991,284	2,951,121
	210		-3,756,989	-2,772,887	-1,788,785	-804,683	179,419	1,163,520	2,147,622	3,131,724	4,115,826
	220		-2,786,402	-1,778,035	-769,669	238,698	1,247,064	2,255,431	3,263,798	4,272,164	5,280,531
	230		-1,815,815	-783,183	249,448	1,282,079	2,314,710	3,347,342	4,379,973	5,412,604	6,445,235
	240		-845,227	211,669	1,268,564	2,325,460	3,382,356	4,439,252	5,496,148	6,553,044	7,609,940
	250		125,360	1,206,520	2,287,681	3,368,842	4,450,002	5,531,163	6,612,323	7,693,484	8,774,645
	260		1,095,947	2,201,372	3,306,798	4,412,223	5,517,648	6,623,073	7,728,499	8,833,924	9,939,349
270		2,066,534	3,196,224	4,325,914	5,455,604	6,585,294	7,714,984	8,844,674	9,974,364	11,104,054	

Gráfico 10. Mapa de calor de sensibilidad del VPN (Escenario base) con respecto a cambios en el precio de venta y el nivel de productividad

2.3. Arreglo cayman +*Leucaena diversifolia*

Los dos sistemas examinados (T1 y T2) se compararon en términos de su desempeño económico, considerando la incertidumbre de las variables aleatorias identificadas para la estimación de los indicadores de rentabilidad. En la Tabla 10 se presentan los principales resultados asociados a los costos e ingresos para cada alternativa. Los costos de establecimiento del tratamiento T2 resultan un 60% por encima del incurrido en el tratamiento T1, no obstante, los mejores indicadores de productividad animal evidenciados por T2, permitió incrementos promedio año por hectárea del 66% en el ingreso bruto y del 119% en la utilidad neta, respecto a la pastura en monocultivo.

Tabla 10. Costos e ingresos de los tratamientos evaluados

Parameter	T1	T2
Costos de inversión		
Establecimiento de pasturas (US\$/ha/año 0) ¹	689	1,107
Renovación pasturas (US\$/ha) ²	211 (Año 5)	153 (Año 7)
Cerca eléctrica (US\$/ha/año) ³	750	752
Compra de animales (US\$/ha/ciclo)	1,071	1,253
Costos de operación		
Costos mantenimiento pasturas (US\$/ha) ⁴	148	209
Personal permanente (US\$ promedio /ha/año) ⁵	623	622
Bienestar animal (US\$ promedio /ha/año)	20	22
Suplementación (US\$ promedio/ha/año) ⁵	87	86
Ingreso bruto (US\$ promedio/ha/año)	2,190	3,199
Costo unitario de producción (US\$/kg)⁶	1.2	1.21
Ingreso neto (US\$ promedio /ha/año)⁷	356	695

¹Para el establecimiento se realizó una quema química y labranza mecánica del suelo. La tasa de siembra del cayman fue de 8 kg/ha con un nivel de fertilización de N, P, K, Mg y S de 100, 22, 41.5, 20 y 20 kg/ha respectivamente; ² Incluye fertilización de mantenimiento, mecanización del suelo y resiembra del cayman a una densidad de 2 kg/ha; ³ Cerca eléctrica bajo un sistema rotacional; ⁴El manejo se realiza cada dos años e incluyó control de malezas, fertilización con la mitad de dosis usada en el establecimiento (en T2 no se incluye fertilización con N), y podas de formación para la leucaena; ⁵ Se estima por medio del ponderador: 2.5 empleos permanentes requerido por cada 100 animales en el sistema productivo de levante y ceba (FEDEGAN), y un salario mínimo legal vigente más prestaciones a 2018 de US\$469; ⁶ Suplementación con sal mineralizada a razón de 100 g/animal/día para ambos tratamientos; ⁷Utilidad neta: ingreso total (precio de venta * rendimiento) menos los costos totales; ⁷Costo unitario de producción: se obtiene al dividir el costo total del producto entre la producción total.

El resumen de los principales resultados financieros de la simulación para las dos tecnologías evaluadas se presenta en la tabla 4. Los resultados sugieren que la inclusión de la leucaena es financieramente rentable y permite mejorar todos los indicadores de riesgo y desempeño respecto a la pastura en monocultivo. El modelo arroja para T2 un VPN medio positivo que varío entre US\$1,716 y US\$2,055 según el escenario de degradación de la pastura, y una tasa interna de retorno (TIR) a los recursos propios alrededor del 21%. Especialmente, los mayores indicadores productivos para T2 permiten reducir los requerimientos de tierra para sostener una familia, pasando de 6,54 a 3,76 hectáreas, así como disminuye el periodo de reembolso de la inversión de cinco a cuatro años.

Tabla 4. Resumen de indicadores de rentabilidad del modelo de simulación.

Criterio de decisión	Indicador	T1			T2		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3
Scenarios							
NPV	Medio ¹	(288)	(342)	(473)	2,055	1,881	1,716
	Desviación ²	447	434	404	697	673	651
	CV	1.55	1.26	0.85	0.34	0.36	0.38
	IC (95%) ³	(1,135)-558	(1,165)-481	(1,239)-292	743-3,389	610-3,172	484-2,965
TIR	Medio	11	11	10	22	21	21
	IC (95%)	4-15	4-15	4-14	16-28	15-28	15-27
Benefit/Cost	Medio	0.98	0.97	0.96	1.13	1.12	1.12
	IC (95%)	0.9-1.05	0.9-1.04	0.89-1.03	1.05-1.22	1.04-1.21	1.03-1.20
Periodo de repago (Años)	Medio	6	6	6	4	4	4
	IC (95%)	3-8	3-8	3-8	3-5	3-5	3-5
Área Mínima (Hectáreas)	Medio	6.54			3.76		

¹ Valor medio del VPN obtenido en la simulación (5,000 iteraciones); ² Desviación estándar del VPN respecto al valor medio; ³ Valor mínimo y valor máximo en un intervalo de confianza (IC) del 95%; ⁴ probabilidad de que el VPN (respecto al valor medio) sea menor a cero; ⁵ Cociente entre los beneficios y costos descontados.

Respecto a la probabilidad de no factibilidad de los tratamientos, en la Figura 1 se presenta las distribuciones para el indicador VPN. La Gráfica 11 muestra la amplitud de la variación para el indicador de VPN. Para T1, el indicador puede tomar valores negativos cercanos a US\$1,506 y valores positivos cercanos a los US\$948, con un nivel de probabilidad de obtener valores negativos del 72%. Para T2, la inclusión de la leguminosa permite trasladar a la derecha la curva de distribución, reduciendo el nivel de pérdidas al 0%, con un rango de posibles resultados que se movieron entre - US\$61 y US\$4,145.

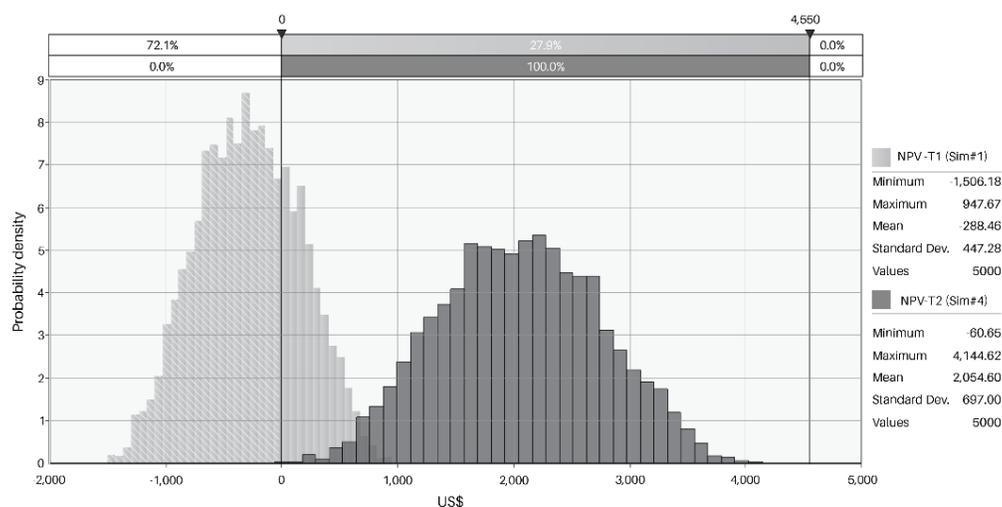
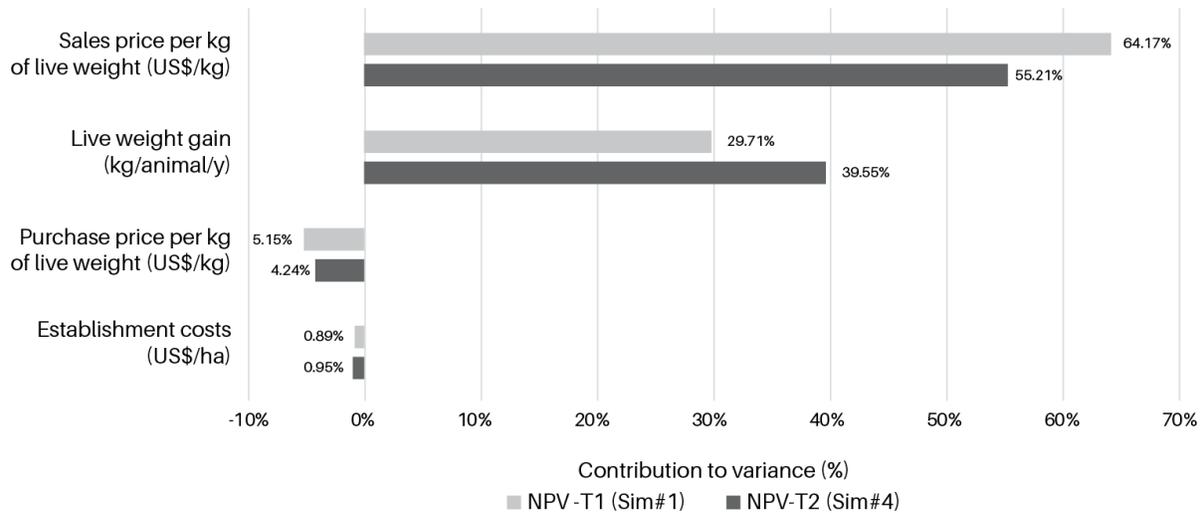


Gráfico 11. Distribuciones de probabilidad y densidad acumulada de la simulación para VPN de la pastura Cayman (T1) y la asociación Cayman +*L. diversifolia* (T2).

La contribución de las variables de entrada a la varianza del VPN se muestra en los gráficos de tornados de la Gráfica 12. Los coeficientes de correlación calculados muestran que la rentabilidad se ve afectada principalmente por la variable de productividad animal y el precio de venta del kg de PV. Esto es, incrementos en dichas variables tiene un efecto positivo sobre la variabilidad en el pronóstico del indicador de la siguiente manera: cambios en la variable de productividad animal modifica la varianza del indicador en un 29.7% y 39.6% para T1 y T2 respectivamente. Del mismo modo, cambios en el precio de venta del kg de carne lleva a cambios en la varianza del 64.2% para T1 y del 55.2% para T2 en el precio de venta. Cuando se realiza en análisis de estrés en el percentile 10° para las anteriores dos variables, se producen cambios negativos respecto al valor medio del indicador VPN en un 335% para T1 y 57% para T2.



Gráfica 12. Densidad de probabilidad acumulada para VPN en la pastura Cayman (T1) y el arreglo Cayman + *L. diversifolia* (T2)

Conclusiones generales

A nivel de productor primario, las opciones forrajeras *B. brizantha* 26124 cv. Orinoquia para los Llanos Orientales y la *M. maximus* cv Agrosavia sabanera en el Caribe húmedo en los sistemas de pastoreo para la producción de carne, permitirá mejorar los indicadores técnicos y económicos bajo diferentes escenarios de rendimientos y condiciones de mercado. En términos productivos, las nuevas variedades incrementan la productividad animal en un rango del 24% al 34% respecto al escenario base, como resultado de las mejores características en términos de calidad nutricional y producción de biomasa. Estas mejoras en productividad permitieron, además, reducir el tiempo necesario para alcanzar el peso de venta del animal y, por tanto, se obtuvieron flujos más continuos en los ingresos. Todo lo anterior se tradujo en mejores indicadores financieros respecto a la tecnología tradicional, esto significa incrementos en promedio del VPN en once veces y la TIR en un 27%. Los resultados indican que la inversión en el establecimiento de la nueva variedad es rentable, con un VPN medio que varió alrededor de COP\$ 675.570 y una TIR alrededor del 19% para el cultivar Orinoquia, y un VPN medio de COP 1.641.066 y una TIR del 14% para el cultivar Agrosavia sabanera, siendo así, una alternativa viable para mejorar la eficiencia en la producción y rentabilidad de las fincas ganaderas en dichas regiones. Los mejores indicadores de desempeño del cultivar Orinoquia y Agrosavia sabanera también estuvieron asociados a una reducción en la probabilidad de tener pérdidas económicas (83% frente a 8.6% y 100% frente a 26%, respectivamente).

La inclusión de *Leucaena diversifolia* en un sistema de pastoreo con Cayman en el Valle del Cauca-Colombia, demostró incrementar en un 49% la ganancia de peso día y en un 20% la capacidad de carga por hectárea, logrando de esta manera reducir el periodo de levante y ceba de 18 a 12 meses, y aumentar la productividad animal al pasar de 711 a 1.078 kg/ha/año. Los mejores indicadores de respuesta animal en T2, produjeron mayores ganancias en términos de desempeño financiero en los tres escenarios evaluados, respecto a T1. Los resultados de la simulación arrojaron indicadores positivos que mejoraron la rentabilidad de la pastura en monocultivo. Indicadores de T2 que también estuvieron asociados a una disminución del riesgo de pérdida económica, ante contingencias en las variables definidas como aleatorias en el modelo. En particular los resultados del análisis de sensibilidad mostraron como cambios en el precio de venta de la carne tiene mayores impactos en los indicadores de rentabilidad para el tratamiento T1, lo que sugiere un mayor riesgo respecto a condiciones de mercado que causen disminuciones en el precio.

Como es sabido, los procesos de adopción de tecnologías de pasturas son decisiones a largo plazo, durante el cual pueden ocurrir cambios sustanciales en las condiciones económicas o ambientales (p.ej. efectos del cambio climático). Considerando que los productores son particularmente adversos al riesgo (Feder 1980; Marra et al. 2003), las tecnologías con un menor riesgo y varianza ofrecen un incentivo adicional para su adopción. Por otro lado, aunque los cultivares Orinoquia y Agrosavia sabanera demuestran mejorar la productividad y reducir los indicadores de riesgo, los sistemas de pastoreo basados en pasturas en monocultivo se encuentran expuestas a cambios importantes en la producción de forraje y calidad durante el año, a causa de las variaciones en las condiciones climáticas y de fertilidad del suelo (Tedonkeng et al., 2007). Por lo tanto, alternativas de asociaciones de estas nuevas pasturas con árboles o leguminosas, como el caso de la asociación Cayman +*L. diversifolia* evaluada en el presente documento, permitirían incrementar la persistencia del material a causa de la fijación de nitrógeno del medio ambiente al suelo, el aporte de materia orgánica a las pasturas, el aumento de la retención de agua en el suelo, y la mejoría en la regulación de la temperatura (Harrison et al. 2015; Navas, 2010), reduciendo de esta manera las fluctuaciones en los rendimientos reales esperados en un sistema de pasturas en monocultivo.

Referencias

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6):716-723. DOI: [10.1109/TAC.1974.1100705](https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705)
- Corpoica (2011). Alternativas de manejo de pasturas de Colosua (*Botriochloa pertusa*) en sistemas ganaderos del trópico bajo [Informe de resultados]. Informe sin publicar
- Dubeux, J.C.B; Blount, A.R.S; Mackowiak, C; Santos, E.R.S; Pereira, J.D; Riveros, U; Garcia, L; Jaramillo, D.M; Ruiz-Moreno, M. (2017). Biological N₂ fixation, belowground responses, and forage potential of rhizoma peanut cultivars. *Crop Science*; 57(2); 1027–1038. DOI:[10.2135/cropsci2016.09.0810](https://doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0810)
- Feder, G. (1980). Farm Size, Risk Aversion and the Adoption of New Technology under Uncertainty. *Oxford Economic Papers* 32(2); 263–283. DOI:[10.1093/oxfordjournals.oep.a041479](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.oep.a041479)
- Gutiérrez, C.D; Wingching-Jones, R; Rodríguez, R.R. (2009). Factibilidad del establecimiento de un sistema de producción de engorde de búfalos en pastoreo. *Agronomía Costarricense* 33(2); 183–191
- Hampton, J. (1982). *Modern Financial Theory: Perfect and Imperfect markets* (Reston Pub). Virginia, USA
- Harrison, M.T; Mcsweeney, C; Tomkins, N.W; Eckard, R.J. (2015). Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agricultural Systems* 136; 138–146. DOI: [10.1016/j.agsy.2015.03.003](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.03.003)
- Holmann, F; Estrada, R. (1997). Alternativas Agropecuarias en la Región Pacífico Central de Costa Rica: Un modelo de Simulación Aplicable a Sistemas de Doble Propósito. En C. Lascano & F. Holmann (Eds.), *Conceptos y Metodologías de Investigación en Fincas con Sistemas de Producción Animal de Doble Propósito*. Cali, Colombia. 134-150.
- Marra, M; Pannell, D.J; Abadi, A. (2003). The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve? *Agricultural Systems* 75; 215–234. DOI: [10.1016/S0308-521X\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00066-5)

- Mejia, S; Atencio, L; Tapia, JJ; Barragán, W; ... Sánchez, L. (2018) Agrosavia sabanera: cultivar de pasto Guinea (*Megathyrus maximus*) Gramínea forrajera de alta producción de forraje, excelente calidad nutricional y abundante producción de semilla [Manual de liberación]
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, (19). 113-122 p.
- Roura, H., & Cepeda, H. (1999). Manual de identificación, formulación y evaluación de proyectos de desarrollo rural. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Ordoñez, J. (2015). Evaluación de Riesgos y Análisis de decisión utilizando @Risk y el DesicionTools Suite. The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference (Vol. 1). DOI:[10.1017/CBO9781107415324.004](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004)
- Park, C. S. (2007). *Contemporary Engineering Economics* (4th ed). Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J
- Peters, M; Sotelo, M; Rincón, A; Pérez, O. (s.f). Cultivar Orinoquia (*Brachiaria brizantha* CIAT 26124). Nueva alternativa forrajera para el desarrollo sostenible de la ganadería Colombiana (Manual sin publicar). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Piñeros, R; Tobar, V; Mora, J (2011). Evaluación agronómica y zootécnica del pasto Colosoana (*Bothriochloa pertusa*) en el trópico seco del Tolima. *Revista colombiana de ciencia animal*, 4 (1). 36-40 p.
- Reckling, M; Bergkvist, G; Watson, C.A; Stoddard, F.L; Zander, P.M; Walker, R.L; Pristeri, A; Toncea, I; Bachinger, J. (2016). Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science* 7; 1–15. DOI: [10.3389/fpls.2016.00669](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00669)
- Rincón, A; Caicedo, S. (2010) Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos de los Llanos colombianos. En: Rincón A; Bueno GA; Álvarez M; Pardo O; Pérez O; Caicedo S. (Eds.), Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos. Corpoica, Villavicencio, Colombia. 75-111 p.
- Rincón, A; Caicedo, S. (2010) Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos de los Llanos colombianos. En: Rincón A; Bueno GA; Álvarez M; Pardo O; Pérez O; Caicedo S. (Eds.), Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos. Corpoica, Villavicencio, Colombia. 75-111 p.
- Tedonkeng, E; Boukila, B; Fonteha, F.A; Tendonkenga, F; Kanaa, J.R; Nanda, A.S. (2007). Nutritive value of some grasses and leguminous tree leaves of the Central region of Africa. *Animal Feed Science and Technology*, 135 (3-4), 273-282 p. DOI:[10.1016/j.anifeedsci.2006.07.001](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.07.001)