

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

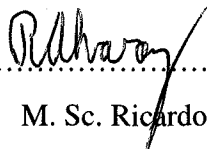
**Validación de un sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia* en vacas Jersey de la
Finca Experimental Santa Lucía**

Trabajo final de graduación con modalidad de proyecto de graduación sometido a
consideración del Tribunal Examinador de la
Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar al grado de
Licenciatura en Agronomía.

Bach. Ernesto Sánchez Brenes

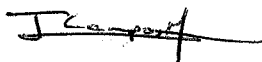
Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica,
Junio, 2024

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



M. Sc. Ricardo Alvarez Brito

Representante del decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar



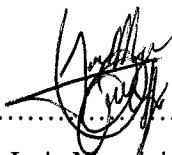
M. Sc. Jorge Campos Alfaro

Representante del director de la
Escuela de Ciencias Agrarias



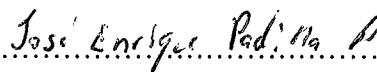
M. Sc. Miguel Castillo Umaña

Tutor



M. Sc. Luis Mauricio Arias Gamboa

Asesor



Lic. José Padilla Fallas

Asesor



Bach. Ernesto Sánchez Brenes

Postulante

Resumen

Con el objetivo de validar un sistema silvopastoril (SSP) con Botón de oro (*T. diversifolia*), ubicado en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional, se desarrolló la siguiente evaluación, la cual constó de la implementación del pastoreo en un sistema silvopastoril en donde se ofreció biomasa de Botón de oro correspondiente a la sustitución del 15% de ABC. Para esto se utilizaron 10 vacas multíparas en etapa de producción, las cuales pastorearon durante 3 medios días dentro de 5 apartos de 470 m², los cuales contaron con 3 líneas de 20 plantas de *T. diversifolia* para un total de 60 plantas por potrero, así como pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) como forraje de piso. Previo al ingreso de los animales, se realizó una uniformización de los forrajes para brindar 56 días de rebrote a la *T. diversifolia* y 28 días al *C. nlemfuensis*. El resto de la dieta de los animales estaba constituida por pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*) y ABC. Para esta validación se realizó la determinación del comportamiento ingestivo de los animales, la determinación del consumo de materia seca y nutrientes. El consumo de materia seca de pasto estrella y botón de oro fue de 0,96 y 0,74 respectivamente por apto. El consumo de nutrientes basado en la calidad bromatológica de los forrajes fué de 134 y 142 g de proteína cruda (PC) por parte del pasto estrella y botón de oro respectivamente; El consumo de energía neta de lactancia (ENL) 1,13 Mcal/kg y 0,87 Mcal/kg proveniente del pasto estrella y botón de oro respectivamente. Con respecto al análisis de costos se logró determinar que el costo por kilogramo de MS y PC producido por la *T. diversifolia* fue menor en comparación con el ABC. En el caso del Kg de MS fué de ₡ 86,85 mientras que el ABC fue de ₡ 300; en el caso del costo del Kg de PC fué de ₡ 446,08 con *T. diversifolia* y ₡ 1667 con ABC de un 18% de PC. Con base en lo anterior se realizó una estrategia que permita buscar puntos de mejora como oportunidades futuras para la implementación de un SSP sencillo que ayude a los productores a reducir sus costos de producción en las fincas lecheras.

Abstract

With the objective of validating a silvopastoral system (SSP) with wild sunflower (*T. diversifolia*), located in the “Finca Experimental Santa Lucía” of the “Universidad Nacional de Costa Rica”, the following evaluation was developed. This consisted in the implementation of grazing in a system silvopastoral where *T. diversifolia* biomass was offered corresponding to the replacement of 15% of ABC. For this, 10 multiparous lactating cows were evaluated, which grazed for 3 half days within 5 paddocks of 470 m², every paddock had 3 lines of 20 *T. diversifolia* plants for a total of 60 plants per paddock, as well as african stargrass (*Cynodon nlemfuensis*) as ground forage. Before the entry of the animals, a uniformization of the forages was carried out to provide 56 days of regrowth for *T. diversifolia* and 28 days for *C. nlemfuensis*. The diet consisted of “King Grass” (*Pennisetum purpureum*) and ABC. For this validation, the ingestive behavior of the animals was determined, as was the consumption of dry matter and nutrients. The dry matter consumption of *C. nlemfuensis* and *T. diversifolia* was 0.96 and 0.74 respectively per forage. Nutrient consumption based on the bromatological quality of the forages was 134 and 142 g of crude protein (CP) by african stargrass and wilde sunflower respectively; The lactation net energy consumption (ENL) 1.13 Mcal/kg and 0.87 Mcal/kg from african stargrass and wilde sunflower respectively. Regarding the cost analysis, it was determined that the cost per kilogram of DM and CP produced by *T. diversifolia* was lower compared to the ABC. In the case of Kg of DM it was ₡ 86.85 while the ABC was ₡ 300; In the case of the cost per Kg of PC it was ₡ 446.08 with *T. diversifolia* and ₡ 1667 with ABC of 18% PC. A strategy was carried out with the information gendered by the evaluation, to search for points of improvement as future opportunities for the implementation of a simple SSP that helps producers reduce their production costs on dairy farms.

Agradecimientos

A Miguel Castillo, por todo el apoyo y tutoría brindada en el camino tanto de PPS como de TFG de licenciatura, así como a ambos lectores Luis Mauricio Arias y José Padilla por hacer posible este trabajo.

A la Finca Experimental Santa Lucía por brindar las instalaciones y recursos necesarios para llevar a cabo el trabajo como también al personal de la lechería y vaqueros por el apoyo brindado durante el tiempo de evaluación.

Al Programa de Producción Sustentable de Leche Bovina por ser parte de mi desarrollo como profesional en los últimos años y por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo bajo la línea de producción sostenible.

A los docentes Esteban Arboleda por brindarme apoyo en la parte de análisis de costos y llevar más allá de lo esperado y Johaner Rosales por facilitarme la información climática.

Finalmente un agradecimiento a todas las demás personas que de una u otra forma estuvieron en el proceso y brindaron su apoyo para que este producto final fuera posible.

Tabla de contenidos

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. Marco teórico.....	4
3.1 Producción de leche.....	4
3.2 Alimentación de rumiantes.....	5
3.3 Sistemas silvopastoriles (SSP).....	6
3.4 Generalidades de la <i>Tithonia diversifolia</i>	7
3.5 Comportamiento ingestivo.....	8
3.6 Costos de producción de leche.....	9
4. Metodología.....	10
4.1 Ubicación.....	10
4.2 Sistema silvopastoril a utilizar.....	11
4.3 Manejo y alimentación de los animales en el SSP:.....	11
4.4 Determinación del consumo de materia seca y comportamiento ingestivo.....	12
4.5 Determinación del costo por kg de materia seca de <i>Tithonia diversifolia</i> en un sistema silvopastoril.....	12
4.6 Diseño de la estrategia de implementación de sistemas silvopastoriles con <i>Tithonia diversifolia</i>	13
5. Resultados y discusión.....	13
5.1 Comportamiento Ingestivo.....	13
5.2 Consumo de materia seca y nutrientes.....	16
5.2.1 Calidad bromatológica y consumo de nutrientes.....	18
5.3 Costos de producción de MS en el SSP.....	20
5.4 Estrategia de implementación de un sistema silvopastoril con <i>Tithonia diversifolia</i>	23
5.4.1 Diseño del SSP.....	23
5.4.2 Selección de las especies a utilizar.....	27
5.4.3 Manejo del pastoreo.....	28
5.4.4 Inversión inicial y costos operativos.....	30
5.4.5 Beneficios económicos y ambientales.....	30
5.4.6 Plan para enfrentar eventos climáticos.....	31
6. Conclusiones.....	33
7. Recomendaciones.....	33
7. Referencias bibliográficas.....	34
9. Anexos.....	41

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución de frecuencias del comportamiento ingestivo de las vacas Jersey en el sistema silvopastoril.....	14
Tabla 2. Cantidad de materia seca (MS) consumido por grupo y por animal en los distintos apartos.....	17
Tabla 3. Calidad bromatológica del pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) y el botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) en los potreros previo al ingreso de los animales.....	18
Tabla 4. Cantidad de proteína cruda (PC) y Energía Neta de Lactancia (ENL) consumido por animal en los distintos apartos.....	19
Tabla 5. Estructura de costos de establecimiento de un SSP con <i>T. diversifolia</i> por hectárea basado en el SSP utilizado para la evaluación realizada en la FESL.....	21
Tabla 6. Estructura de costos de mantenimiento de un SSP con <i>T. diversifolia</i> por hectárea basado en el SSP utilizado para la evaluación realizada en la FESL.....	21
Tabla 7. Costo por kilogramo de MS y PC del ABC y <i>T. diversifolia</i> en colones y dólares.....	22

Índice de figuras

Figura 1. Distribución del comportamiento ingestivo por actividad comiendo, rumiando, bebiendo, sin actividad por hora del día.....	14
Figura 2. Temperaturas máximas registradas en grados Celsius por la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) ubicada en la FESL, durante el periodo de evaluación de los animales.....	15
Figura 3. Distribución del forraje seleccionado por las vacas al momento de evaluar el comportamiento ingestivo (Comiendo) durante un minuto.....	19
Figura 4. SSP con <i>T. diversifolia</i> utilizado en la FESL para la evaluación.....	24
Figura 5. Diagrama de un SSP con <i>T. diversifolia</i> con franjas protegidas a los costados del potrero.....	25
Figura 6. Realización de botanal con un marco de 0,25m ² en pasto estrella (<i>C. nlemfuensis</i>) en la FESL.....	26
Figura 7. Ilustración del arreglo de plantas utilizado en un SSPi.....	27
Figura 8. Realización de uniformización del botón de oro (<i>T. diversifolia</i>) en la FESL.....	29
Figura 9. Sombra provista por la <i>T. diversifolia</i> y el aprovechamiento de esta por parte de los animales evaluados.....	32

Índice de anexos

Anexo 1. Cantidad de materia seca (MS) por forraje disponible en Kg en los distintos apartos y la MS total.....	41
Anexo 2. Porcentajes de aprovechamiento de los forrajes por apartado.....	41
Anexo 3. Análisis de flujograma de la <i>T. diversifolia</i> dentro de un sistema silvopastoril.....	42

1. Introducción

La alimentación animal se ha convertido en un reto para los productores nacionales. El alto costo de la alimentación en sistemas de producción de leche es uno de los rubros más importantes a considerar debido a que este alcanza el 46,25% de los costos totales de un kilogramo de leche producido; además, la escasez de alimentos y altos costos de fuentes suplementarias como el alimento balanceado (AB) han incurrido en que los productores se encuentren frente a sistemas de producción no rentables llegando a alcanzar hasta un costo de 713,04 colones por litro de leche producido (Calvo, 2021).

El alza en AB es un punto clave en el desarrollo de las lecherías especializadas debido a la alta dependencia a estos insumos, especialmente en sistemas de alta producción en la cual el suplemento es aún mayor. Esta situación, sumada al alza de las fuentes proteicas y el uso de concentrados de forma poco eficiente causa que la producción no siempre sea mayor y que los costos vayan en aumento (Villarreal, 2020).

Esta situación ha generado en los productores, el interés de buscar opciones alternativas a la alimentación animal en las fincas lecheras. El uso de materias primas más baratas para la alimentación como lo son desechos de cosechas o subproductos de la agricultura, además del aprovechamiento al máximo de los recursos, es esencial para disminuir el impacto de los altos costos de producción (Núñez y Rodríguez, 2019).

Algunas de las alternativas que se pueden valorar, son los sistemas silvopastoriles, los cuales han sobresalido como una opción viable para la producción sustentable debido al aprovechamiento del forraje de distintas especies forrajeras en el mismo espacio, generando una mayor producción de biomasa disponible. Esta estrategia permite ofrecer al animal, especies forrajeras mejoradas como lo son pastos y complementar con uso de plantas de altos niveles de proteína que en conjunto brinden a los animales una alta calidad nutricional con la ventaja de que es el mismo animal el que lo cosecha. Logrando una disminución en los costos tanto de alimentación como de la mano de obra (Camero Rey, 2020).

En los sistemas pastoriles destaca la utilización de la planta “Botón de oro” (*Tithonia diversifolia*) la cual se ha logrado establecer y evaluar en sistemas de producción silvopastoril, con valores de proteína cruda (PC) que oscilan dentro del 14,80% al 28,70% dependiendo del manejo que se le brinde. Evaluaciones realizadas señalan que, esta planta puede llegar a

suplementar hasta un 25% de la dieta en vacas lecheras sin detrimento en la producción, resultados que han sido asociados a su alto valor proteico y la alta digestibilidad *in vitro* de su materia seca (DIVMS), alcanzando valores de hasta 73,50% (Paniagua et al., 2019).

Se ha reportado un costo por kilogramo de materia seca de 94,50 colones siendo la mano de obra el rubro más significativo correspondiendo al 80%, esto evidencia necesario una estrategia de utilización de esta planta de una forma más barata como la cosecha directa por parte del animal (Paniagua et al., 2019).

La *T. diversifolia* es una planta forrajera que cuenta con características que le brinda una alta robustez para su establecimiento y rebrote, permitiendo una alta producción de biomasa que puede variar de entre 30 y 70 ton/ha por año de materia fresca. Esto permite que en sistemas silvopastoriles con inclusión de esta planta, se logren mayores contenidos de alimento disponible para los animales sumado a la alta calidad lo que permite mantener una mayor producción (Vázquez et al., 2021).

También se ha reportado el caso de suplementación de ensilaje de *T. diversifolia* con maíz, logrando un mayor rendimiento de kilogramos de leche y un menor costo de producción. Esto permite considerar a la *T. diversifolia* como una buena opción para suplementar en vacas lecheras en función de disminuir el costo por kilogramo de leche producido (Angulo, et al., 2022).

La finalidad de este trabajo es la validación técnico-productiva y el análisis de costos de un sistema silvopastoril con *T. diversifolia* para la generación de estrategias de implementación en fincas ganaderas que permitan disminuir costos, aumentar la resiliencia y disminuir la dependencia a insumos externos como parte del “Programa de producción sustentable de leche bovina” de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) de la Universidad Nacional (UNA).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Evaluar la viabilidad del consumo, comportamiento ingestivo y costos de la implementación de un sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia* en vacas Jersey para la generación de una estrategia de utilización en fincas ganaderas que aporten a una menor dependencia de insumos alimenticios externos.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento ingestivo y el consumo de materia seca de las especies forrajeras presentes en un sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia*.
- Determinar el costo del kg de materia seca de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril con vacas Jersey considerando su establecimiento y operación.
- Diseñar una estrategia de utilización de un sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia* para ser utilizado en vacas lecheras considerando la viabilidad técnica y los costos de producción.

3. Marco teórico

3.1 Producción de leche

La producción de leche es de gran importancia para la economía de Costa Rica y ha sido un rubro importante en el producto interno bruto (PIB) en los últimos años. Tanto la producción como las exportaciones de productos como leche fluida y nata aumentaron para el tercer trimestre del año 2022 en comparación del año anterior en un 13,10% (Mora, 2022).

La producción agropecuaria para el año 2022 representó el 4% del PIB y el sector agropecuario ampliado representó el 9% del PIB. Las cifras preliminares muestran que la actividad pecuaria tuvo un impacto de aproximadamente 297,10 millones de dólares estadounidenses en exportaciones. Además, el sector brinda trabajo a 244 259 personas en todo el territorio nacional (Mora y Monge, 2023).

La actividad lechera es de gran relevancia para el país, impulsada por el sector privado y las cooperativas de productores de leche. Esto ha generado que las lecherías cuenten con alta tecnificación y una estructura de agroindustria compleja. Por otra parte, el sector primario de la producción de leche sigue enfrentando retos, tales como mejorar los hatos, obtener mejores índices productivos y reproductivos, la sostenibilidad ambiental y enfrentar altos costos en la alimentación animal, este último siendo uno de los aspectos de mayor impacto en la actividad (Mena et al., 2020).

Uno de los mayores retos que enfrenta el sector lechero nacional en la desgravación arancelaria de los productos lácteos provenientes del extranjero tras el CAFTA-DR-USA, siendo el arancel del 33% en el año 2020 y esperando que llegase al 0% para el año 2025 en los principales lácteos como lo son la leche fluida, quesos frescos, leche en polvo entre otros. Esta situación genera en el sector una nueva forma de producción, que sea más competitiva y trabajando en conjunto para la regulación de los productos extranjeros a través de actualizaciones en el Codex Alimentarius (Durán et al., 2020).

Otro de los retos son los costos de alimentación y dependencia de materia primas extranjeras para la producción de leche, en las dietas de las vacas lecheras los AB son una de las principales bases de la alimentación acompañado de pastos de corta, las principales materias primas de estos AB son el maíz y la soya ambos productos provenientes del extranjero (Villarreal, 2020).

3.2 Alimentación de rumiantes

Los animales rumiantes presentan la ventaja biológica de tener una simbiosis con microorganismo en su complejo gástrico que le permite alimentarse de alimentos altos en fibra o carbohidratos estructurales como la celulosa, generando productos como leche o crecimiento de tejido muscular que pueden ser aprovechados por el ser humano. No obstante, variaciones en el suministro y la calidad de los alimentos puede modificar los patrones productivos del animal (García y Pérez, 2020).

En el caso de la producción de leche, ésta se ve restringida por la calidad y cantidad de alimento que se proporciona, lo cual no solo impacta significativamente en la productividad, sino que también los costos de la finca. Por lo tanto, es esencial garantizar la disponibilidad de alimentos en cantidad y calidad adecuadas para que los animales puedan expresar su potencial productivo (Núñez y Rodríguez, 2019).

En la alimentación la proteína y energía destacan como nutrientes esenciales para que los animales rumiantes, debido a que estos permiten el desarrollo de bacterias y microorganismos ruminales que permiten el aprovechamiento de los aminoácidos provenientes del forraje así como la síntesis de la proteína microbiana dentro del rumen, por lo cual deficiencias o desbalances nutricionales de estos limitan directamente la producción de leche o carne (Elizondo, 2020).

La nutrición adecuada de las vacas productoras de leche desempeña un papel fundamental en su bienestar y rendimiento, ya que los alimentos suministrados deben satisfacer sus necesidades nutricionales y fisiológicas. Estos alimentos deben contar con la capacidad de ser digeridos y absorbidos por los animales a través del proceso de la alimentación y nutrición. Los alimentos ofrecidos, deben proporcionar los nutrientes esenciales como carbohidratos, grasas, proteínas, vitaminas y minerales, para el crecimiento y desarrollo adecuado del animal, así como para la adecuada productividad de este (Erickson y Kalscheur, 2020).

En Costa Rica, se utilizan distintos sistemas de alimentación, dependiendo del nivel de intensificación de la actividad. Los sistemas ganaderos extensivos de ganadería de carne y doble propósito basan su sistema de alimentación en el pastoreo bajo poca suplementación. Por otra parte, los sistemas de producción de leche basan su estrategia de alimentación en el pastoreo y la suplementación con materias primas principalmente importadas, lo que les aumenta su productividad, pero los hace dependiente del mercado internacional de granos principalmente maíz y soya (Thompson et al., 2022).

La búsqueda constante de la disminución de esta dependencia de insumos externos hace que en la ganadería se realice constantemente la evaluación de alternativas como el uso de subproductos agroindustriales, validación de forrajes y la utilización de sistemas silvopastoriles como estrategia de maximización de la producción y la eficiencia económica (López, et ., 2019).

3.3 Sistemas silvopastoriles (SSP)

Los sistemas silvopastoriles son una forma de manejo de los recursos naturales que integra la producción de forraje, árboles y animales en un mismo sistema. Esto implica el uso de distintos forrajes para brindar distintas fuentes de alimento como fibra, carbohidratos o proteínas. El uso de distintas especies permite colocar cercas vivas, sombra y una mayor disponibilidad de biomasa. Además, la combinación de árboles y pasturas generan un impacto positivo en el suelo, como una mayor fijación de carbono, evitando la compactación y degradación tanto del suelo como la pastura (Ruiz et al., 2019).

Un SSP es un sistema diverso que cuenta con una compleja relación de especies que pueden ser nativas, introducidas o mejoradas y de distintos estratos así como los pastos a nivel de suelo, arbustivas o arbóreas. Las especies utilizadas dentro de los SSP pueden variar debido a una gran variedad de factores como lo son el clima, la altitud, las características edáficas entre otras, por lo que se debe de tener en cuenta dependiendo de la zona o región en la cual se desempeñe la actividad ganadera para el establecimiento de un SSP (Del Pozo, 2019).

Los SSP al ser un ecosistema diverso son una herramienta en la adaptación al cambio climático en las fincas ganaderas, debido a que al haber una mayor producción de forraje se demuestra una mayor capacidad de fijación de carbono dentro del sistema, así como un mejoramiento en la estructura del suelo. De igual manera, estos promueven una mayor capacidad de carga animal así como una mayor disponibilidad de alimentos de mayor calidad (Murgueitio, Chará et al., 2014).

También los SSP pueden tener distintos diseños o acomodos especiales dentro de las fincas así como una mayor o menor densidad y especies de plantas presentes. Dentro de estos cabe recalcar los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) ya que cuentan con acomodos de poco espacio en metros cuadrado y una gran variedad de especies con alta densidad de plantas, un ejemplo son 8 especies en especies en total dentro del potrero, 2 de ramoneo 2 de pastoreo y 4 destinadas a maderables (Tarazona et al., 2017).

Como se mencionó previamente, un SSP puede contar con distintas actividades económicas como lo pueden ser especies maderables o frutales que brinden a los productores, generar no solamente un beneficio con la producción animal sino diversificar sus posibles entradas económicas a través de la introducción de más especies; Por otra parte, un componente extra como lo pueden ser los bancos de proteína dentro de los SSP con plantas de la familia de las fabáceas como *Arachis pintoi* u otras que cuenten con un alto contenido proteico como la *T. diversifolia* que brindan al sistema una mayor calidad nutricional para la alimentación animal (Murgueitio, Chará et al., 2014).

El componente arbóreo presenta una variedad de especies con diversos usos, desde la producción de madera como la caoba (*Swietenia macrophylla*) y la teca (*Tectona grandis*), hasta aquellas destinadas a fines forrajeros, como el cenízaro (*Samanea saman*) y el Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*). También se encuentran especies como el cedro tropical (*Cedrela odorata*), la melina (*Gmelina arborea*), el madero negro (*Gliricidia sepium*) y el poro (*Erythrina* spp.) cada una con características particulares y potenciales usos como cercas, fijación de nitrógeno, alimentación entre otros (Murgueitio, Flores et al., 2015),

3.4 Generalidades de la *Tithonia diversifolia*

La planta *Tithonia diversifolia*, también conocida como "Botón de oro", es una planta que se utiliza cada vez más en la alimentación animal. Las hojas de esta planta son altas en proteínas, siendo una opción para ser utilizada como suplemento. Además, se utiliza en sistemas silvopastoriles (SSP) como una fuente de forraje la cual permite disminuir la utilización de concentrados y otras materias primas de la alimentación animal como soya y maíz. De igual manera el uso de esta planta ha demostrado que se puede aumentar la productividad, sólidos totales y obtener una rentabilidad mayor hasta del 30% al ser utilizada en SSP (Mauricio et al., 2017).

En SSP la *T. diversifolia* permite contar con una mayor fuente de biomasa así como un alimento de alta calidad nutricional para los animales. Se ha observado que su uso aumenta no solo la calidad de la leche sino también la cantidad producida por los animales, así como una disminución en el conteo de células somáticas. Como alternativa, esta planta permite la suplementación del 15, 25 y hasta un 35% en sistemas SSP sin afectar la cantidad y calidad de la producción de leche (Lodoño et al., 2019).

La *T. diversifolia* cuenta con un alto valor nutricional presentando un 15% de materia seca, 15,90% a 21,50% de proteína cruda, 42,50% de fibra en detergente neutro y 36,80% de fibra en detergente ácido. En el caso de la energía, la *T. diversifolia* cuenta con 1,18 Mcal/kg MS. Respecto a minerales, presenta 11,50% de cenizas, 1,40% de calcio y un 0,30% de fósforo. Además, es importante destacar la digestibilidad in vitro de materia seca de un 73,50% y la producción de hasta 30,40 toneladas de MS por año a una edad de rebrote de 56 días (Paniagua et al., 2019).

Los contenidos de proteína en la *T. diversifolia* llegan a ser muy variables dependiendo de las precipitaciones, condiciones edafoclimáticas o el régimen de fertilización utilizado en las fincas así como la parte de la planta analizada ya sean hojas o tallos y la edad de corta de la planta, Arias (2018), reporta valores de entre 21,20% a 21,70% para la FESL, mientras que Arias, López et al., (2023) reportan un valor de 19,13% en plantas de botón de oro de entre 50 y 60 días de rebrote con una fertilización química, igualmente en la FESL.

En los SSP la *T. diversifolia* se ha utilizado debido a que esta planta cuenta con una alta robustez, resistente a la cosecha y es de fácil establecimiento, en el caso del establecimiento, se ha reportado de forma exitosa con el uso de mínima labranza del suelo haciendo uso de chapea mecanizada y siembra directa al suelo de semilla vegetativa del ecotipo del botón de oro “INTA-Quepos” (Paniagua et al., 2019).

Este ecotipo se ha distribuido ampliamente por el país no solamente por su adaptación al trópico y producción de biomasa, sino también por su calidad nutricional y digestibilidad, en el caso de plantas con una edad de 50 días de rebrote se presenta una degradación potencial superior al 60% en el tallo, mientras que para las hojas se reporta un 98,9% para la misma edad de rebrote; además, no se reporta una afectación al pH ruminal tras el consumo de *T. diversifolia* (Arronis et al., 2019).

3.5 Comportamiento ingestivo

El comportamiento de consumo de alimentos por parte de los animales se puede ver afectado por distintos factores como la cantidad de hora luz, salud del animal y estímulos como lo puede ser la rutina de ordeño. También, las condiciones en las que se encuentren los animales como estabulamiento o pastoreo afecta en el comportamiento de ingesta de alimentos por parte de los animales (Roca et al., 2010).

El comportamiento también puede variar según el animal dependiendo de la etapa fisiológica, raza, edad, producción de leche y sus requerimientos nutricionales, animales con un requerimiento mayor necesitan consumir una mayor cantidad de alimento o alimentos de mayor calidad y digestibilidad por lo cual tanto la ración como la ingesta de alimentos puede variar según el animal (NASEM, 2021)

La forma de evaluación de la ingesta de alimentos en vacas lecheras y otros animales se evalúa mediante tablas que contemplan tiempo y posición del animal, en rumiantes la escala registra animales: comiendo, bebiendo, tumbadas, de pie o rumiando. Sin embargo, se encuentra también en la clasificación: rumiando lado derecho, rumiando lado izquierdo, de pie comiendo, de pie sin actividad, interactuando con otros animales y otras actividades en las cuales se incluye caminar (Castillo, 2018)

Por otra parte, el comportamiento ingestivo puede llegar a afectar el consumo de materia seca si los animales se ven restringidos durante un tiempo establecido de pastoreo, por lo cual el animal debe de contar con las condiciones y alimentación suficiente para satisfacer sus necesidades nutricionales (Pérez et al., 2008).

La calidad del forraje también es un aspecto importante en el consumo de materia seca por parte de los animales, forrajes altos en FND cuentan con una menor digestibilidad así como una tasa de pasaje más lenta causando en el animal una sensación de llenura que aumenta la rumia y disminuye el consumo; así como alimentos con tamaños de partícula grandes los cuales causan el mismo efecto de estimulación de la rumia (NASEM, 2021).

3.6 Costos de producción de leche

El conocimiento de los costos de producción de leche es fundamental para la toma de decisiones en la gestión de una finca lechera. Un análisis de costos mal elaborado o mal analizado y el desconocimiento de los rubros más importantes de la estructura de costos como: alimentación, salud animal, mano de obra, maquinaria, entre otros, puede causar una mala gestión y por ende una menor rentabilidad del sistema (Murillo, 2022).

En los sistemas de producción de Costa Rica, uno de los principales rubros de la producción de leche es la alimentación y en esta se centra el 46.25% de los costos totales de un kilogramo de leche producido. Sin embargo, este rubro puede llegar a alcanzar un mayor porcentaje de participación dependiendo del tipo de sistema ya sea intensivo o extensivo, así

como la dependencia de los insumos externos puede llegar a elevar este. Por esta razón, es importante que los productores lecheros tengan acceso a información actualizada sobre los costos de producción (Calvo, 2021).

En Costa Rica, los costos de producción de leche varían según la región y las condiciones específicas de cada finca lechera. De los factores que más influye en los costos de producción es la productividad de los pastos y la calidad de la alimentación. Un buen manejo de las pasturas y forrajes disponibles en la finca pueden llegar a hacer una gran diferencia en los costos de producción. Para el caso de fincas con pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) el costo promedio nacional de Kg consumido por animal es de ₡ 31.70 (Pérez, 2019).

Tener un manejo agronómico adecuado de la materia prima fundamental como lo son los pastos es crítico en la producción de leche, esto debido a que un balance de forraje positivo es necesario para alcanzar una producción rentable y baja en dependencia de insumos externos. Al contar con una mayor disponibilidad de biomasa se puede satisfacer más fácilmente el consumo de MS de los animales y tras la incorporación de plantas arbóreas o leguminosas se brinda una mayor calidad al alimento proporcionado a los animales (Martínez, Serrano et al., 2022).

4. Metodología

Para la elaboración de la estrategia de implementación se desarrolló una prueba de validación técnica de comportamiento ingestivo y consumo en un sistema silvopastoril con *T. diversifolia*, en vacas de la raza Jersey en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional de Costa Rica (FESL). Posterior a la prueba de consumo se realizó un análisis de costos de la producción de *T. diversifolia* en un arreglo silvopastoril.

4.1 Ubicación

La prueba de validación de consumo se realizó en un silvopastoril con *T. diversifolia* ya establecido desde el año 2015 en la FESL ubicada en el cantón de Barva, provincia de Heredia.

En la FESL, predominan los suelos del orden andisol con alta presencia de rocas volcánicas y con perfiles variados de poca a mediana profundidad, la extensión de la finca son aproximadamente 32 ha, para la producción de leche bovina se asigna alrededor del 50% del terreno de la FESL, dividido en 30 potreros, infraestructura como la sala de alimentación, sala de ordeño y bancos forrajeros (Arias, 2018).

4.2 Sistema silvopastoril a utilizar

El sistema silvopastoril utilizado constó de un área total de 2358 metros cuadrados, divididos en 5 potreros de 470 metros cuadrados. En cada uno de estos potreros existe un arreglo silvopastoril de tres franjas de 37 metros de longitud de *T. diversifolia* con pasto de piso estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*). La distancia de siembra de *T. diversifolia* fue originalmente de 0,50 metros entre plantas; Sin embargo, debido a mortalidad de las plantas al momento del ensayo se contó con un total de 20 plantas por línea y 60 plantas por potrero con una producción media de 6 kg por planta para una oferta de 360 kg de forraje verde de *T. diversifolia* por potrero.

Previo a la prueba de consumo y comportamiento ingestivo las plantas fueron uniformizadas para que los animales tuvieran una oferta de material vegetal de *T. diversifolia* entre 56 y 60 días de rebrote. El pasto de piso también fue uniformizado para que los animales tuvieran una oferta de forraje de 28 días de rebrote.

Previo al ingreso de los animales se evaluó la calidad bromatológica de la *T. diversifolia* y pasto estrella para estimar la calidad nutricional y aporte de nutrientes de ambas especies al momento del consumo. El análisis bromatológico contempló la materia seca determinada en estufa a 60 °C durante 48 h, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, con la metodología del AOAC (1998). La fibra en solución detergente neutro (FDN), fibra en solución detergente ácida (FDA) y lignina (Van Soest y Robertson, 1985), energía metabolizable y energía neta de lactancia se estimó utilizando la metodología propuesta por Detmann et al., (2008) y las ecuaciones propuestas por el NRC (2001). Realizados en el laboratorio de análisis de productos vegetales y animales de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Costa Rica (LAPAV).

4.3 Manejo y alimentación de los animales en el SSP:

Para el desarrollo de la prueba se utilizaron 10 vacas adultas de la raza Jersey múltiparas que se encontraban en su segundo tercio de lactancia con un promedio de producción de 13 kg de leche por día. Las vacas mantuvieron una rutina de dos ordeños diarios a las 5:00 y 16:00 horas. Los animales tuvieron un tiempo de ocupación de pastoreo de 3 medios días por potrero para un total de 15 días de evaluación. Siendo el tiempo entre ordeños 7:20 a 15:00 el utilizado para la evaluación.

Se realizó un análisis de la ración completa de los animales según el consumo para garantizar la satisfacción del requerimiento nutricional según las condiciones productivas individuales.

La alimentación de los animales fue a base de forrajes en el sistema silvopastoril y suplementación con AB comercial, pasto de corte King grass y *T. diversifolia*. La suplementación con AB (4,40 kg de MS) fue un 15% menor a la suplementación convencional y normal de las vacas en un sistema de pastoreo tradicional el cual es de normalmente 5,17 kg de MS de AB por animal por día, acompañado de 2,7 kg MS de pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*) por día. La diferencia en la oferta de kg de materia seca de suplemento de AB (0,77 kg de materia seca por animal por día) se ofertó en el sistema silvopastoril con *T. diversifolia*, requiriéndose 5,27 kg de material verde por vaca por día considerando un 15% de materia seca. La oferta requerida para 10 vacas por día fue de 65,75 kg MS por día, lo cual es inferior a la oferta disponible de 85,20 kg MS de forraje y de *T. diversifolia* por potrero, lo que no limitó su consumo.

4.4 Determinación del consumo de materia seca y comportamiento ingestivo

Para determinar el consumo de materia seca se realizó una medición de las 3 plantas en cada línea de *T. diversifolia* para determinar la oferta previa al pastoreo. Posterior a los 3 días de ocupación, se volvió a medir 3 plantas para determinar el remanente y por diferencia estimar el consumo.

El comportamiento ingestivo se realizó mediante la observación visual de cada uno de los animales cada 20 minutos durante el periodo entre ordeños en el día una vez en cada potrero al tercer día de ocupación. La clasificación del comportamiento ingestivo fue la siguiente: de pie comiendo, de pie rumiando, de pie sin actividad ingestiva, echada comiendo, echada rumiando y echada sin actividad ingestiva. Con esta información se realizaron gráficos del forraje seleccionado al momento de consumo y de la distribución de la actividad ingestiva entre el periodo de ordeño del día.

4.5 Determinación del costo por kg de materia seca de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril

La determinación del costo por kg de materia seca de *T. diversifolia* se estimó considerando los costos de establecimiento y los costos de operación o manejo. En el caso de los

costos de establecimiento se consideraron los siguientes rubros hasta la obtención de una plantación establecida de 4 meses: Semilla, mano de obra para siembra y mantenimiento, acondicionamiento de terreno y fertilización. Para el costo de manejo se consideró: Fertilización y mano de obra para corta de uniformización.

4.6 Diseño de la estrategia de implementación de sistemas silvopastoriles con *Tithonia diversifolia*

La estrategia de implementación de sistemas silvopastoriles con *T. diversifolia* contempló el diseño del arreglo espacial de la plantación considerando la especie forrajera arbustiva y la especie de piso. Contempló además todo el proceso, insumos y costo para el establecimiento bajo distintos escenarios productivos. También, se consideró el proceso de operación y manejo de los animales en el sistema: (Carga animal, sistema de rotación, días de rebrote de las especies, fenología particular de las especies forrajeras, proyección de consumo y comportamiento ingestivo). Esta información se plasmó en un documento de fácil acceso a las personas productoras, similar a un manual técnico que sirva de referencia y consulta.

5. Resultados y discusión

5.1 Comportamiento Ingestivo

Como se observa en la tabla 1, en el comportamiento ingestivo predominó el comportamiento “De Pie Sin Actividad” (DPS) con un 37,10%, seguido de “De Pie Comiendo” (DPC) con un 28,10% y “De Pie Rumiano” (DPR) 13,30%. Además, como lo indica la figura 1 la actividad predominante en la primera hora (7:20 a las 8:20) fue la de DPC, posteriormente predominó DPS especialmente en el periodo de las 11:00 al mediodía.

Por otra parte, la rumia inició una hora posterior a la entrada de los animales al SSP, especialmente de pie, con un aumento de las 12:00 mediodía a las 13:40 y en horas de la tarde se logró observar un aumento en las vacas en rumia pero “Echadas Rumiano” (ER). De igual manera el comportamiento “De Pie Bebiendo” (DPB) se distribuyó de forma uniforme durante todas las horas de evaluación. En el caso del comportamiento en horas de la tarde se observó un aumento en las vacas “Echadas Sin Actividad” (ES).

Tabla 1.

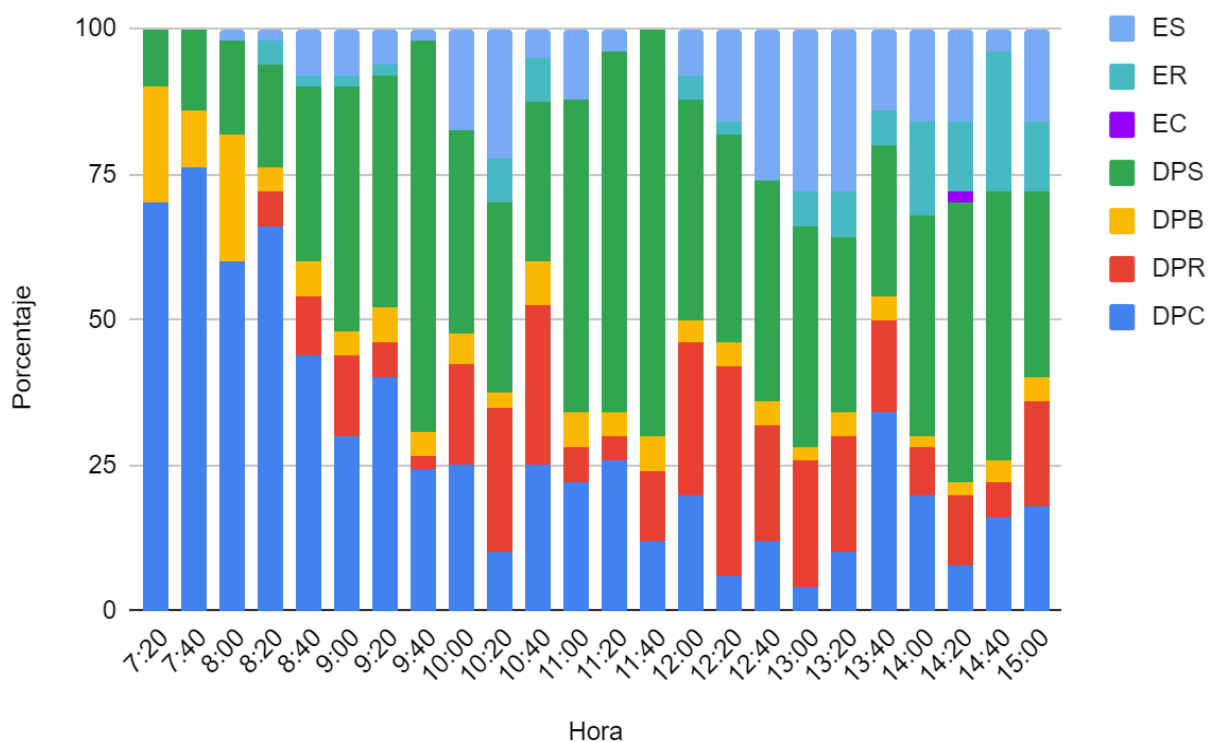
Distribución de frecuencias del comportamiento ingestivo de las vacas Jersey en el sistema silvopastoril.

Frecuencia	Comportamiento ingestivo							Total
	DPC	DPR	DPB	DPS	EC	ER	ES	
Absoluta	328	155	69	434	1	56	126	1169
Relativa	28,10	13,30	5,90	37,10	0,10	4,80	10,80	100

DPC= De Pie Comiendo, DPR= De Pie Rumiando, DPB= De Pie Bebiendo, DPS= De Pie Sin Actividad, EC= Echada Comiendo, ER= Echada Rumiando, ES= Echada Sin Actividad.

Figura 1.

Distribución del comportamiento ingestivo por actividad comiendo, rumiando, bebiendo, sin actividad por hora del día

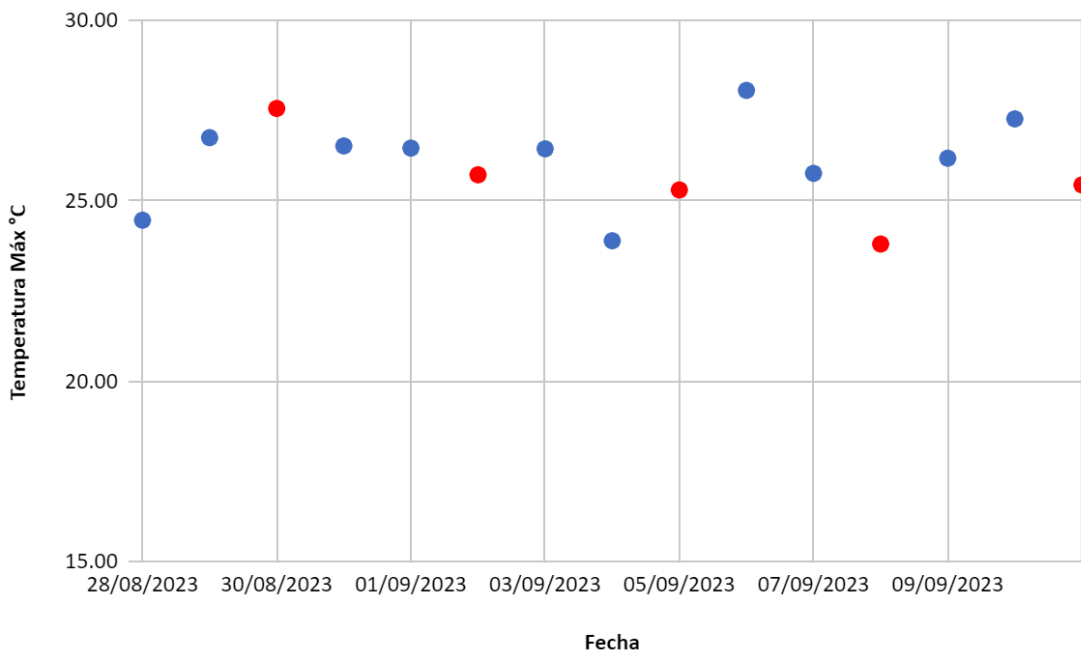


El comportamiento ingestivo está relacionado a las condiciones en la cual un animal se encuentra expuesto, en este caso el estrés calórico podría ser uno de los factores que afectó a los animales disminuyendo la actividad de los animales, así como aumentando el consumo de agua, esto especialmente en las horas de mayor temperatura y humedad al igual que la exposición de los animales a la radiación solar (Skonieski et al., 2021).

Como lo indica la figura 2, las temperaturas en la FESL alcanzaron la temperatura diaria más alta en las horas cercanas al mediodía 11:00 a 13:00, siendo mayor a los 25°C en la mayoría de los días de evaluación señalados como puntos en rojo en la gráfica. Como lo indican Correa et al. (2022), la zona de termoneutralidad de las principales genéticas lecheras se encuentra entre los 5 a 25°C en vacas lactantes. De igual manera NASEM (2021), indica que temperaturas mayores los 25°C causan respuestas fisiológicas debido al estrés calórico como una disminución del consumo de MS así como también la activación del sistema inmunológico, aumento en la frecuencia respiratoria y jadeos.

Figura 2.

Temperaturas máximas registradas en grados Celsius por la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) ubicada en la FESL, durante el periodo de evaluación de los animales.



Como se mencionó previamente y en base en la figura 1 y 2, se logra observar que los animales en las horas más cálidas de 11:00 a 11:40 el porcentaje de animales DPS aumentó a 54% y hasta el 70% lo cual demuestra una disminución en el comportamiento ingestivo debido a las condiciones climáticas a los que fueron expuestos.

Por otra parte, en las primeras horas los animales se encontraban con un mayor comportamiento DPC y DPB, esto podría estar relacionado a que los animales vienen del proceso de ordeño y se encuentran nuevamente en el proceso de producción de leche y llenado de la ubre, así como la movilización del potrero a la sala de ordeño y nuevamente de regreso al potrero como lo indica Capelesso (2020), mostrando el aumento en la voracidad en este periodo.

En el caso del comportamiento DPS, ER y DPR se debe considerar que en los SSP, se cuenta con diferentes fuentes de forraje para los animales así como sombra, lo cual permite que el animal pastoree y posteriormente inicie la rumia, esto es importante ya que al finalizar el consumo del forraje se puede presentar la rumia o descanso (Benavidez, et al., 2020).

De igual manera Ortiz (2020), reporta cambios en el comportamiento ingestivo de animales que cuentan con sombra en relación con el índice de temperatura humedad (ITH) el cual al aumentar por las condiciones del clima puede afectar el tiempo de consumo o rumia siendo mayor el tiempo en descanso e iniciando la rumia en horas más frescas. Esto concuerda con lo obtenido en este estudio debido a que la rumia se presenta tras el consumo del forraje a las 10:00 horas; sin embargo, de 11:00 a 11:40 se presenta una disminución notable en la rumia la cual reanuda a las 12:00.

5.2 Consumo de materia seca y nutrientes

En la tabla 2, se logró observar que el apartado 4 fue el que contó con mayor disponibilidad de materia seca de ambas especies permitiendo un consumo grupal aproximado de 12,81 kg de MS de pasto estrella y 13,04 kg de MS de botón de oro.

Se observó que el consumo de materia seca fue diferente en los distintos apartos y esto pudo estar asociado a la diferencia en la oferta de los forrajes ya que en algunos apartos las plantas tuvieron diferente tasa de crecimiento. En el apartado 1 el consumo de MS de pasto estrella y botón de oro fue de 0,62 kg y 0,41 kg animal/día respectivamente. En el apartado 2 el consumo fue de 0,73 kg y 0,41 kg animal/día para pasto estrella y botón de oro.

Los mayores consumos de materia seca se presentaron en los apartos 3, 4 y 5. En el aparto 3 el consumo de MS fue de 1,30 kg y 0,58 kg animal/día para pasto estrella y botón de oro respectivamente, en el aparto 4 fue de 1,28 kg y 1,30 kg animal/día para pasto estrella y botón de oro respectivamente y el aparto 5 se presentó un consumo de MS de 0,84 kg animal/día de pasto estrella y 0,98 kg animal/día botón de oro.

Tabla 2.

Cantidad de materia seca (MS) consumido por grupo y por animal en los distintos apartos

# Aparto	Consumo de MS (Kg/grupo/día)			Consumo de MS (Kg/grupo/día)		
	Botón de			Botón de		
	Estrella	oro	Total	Estrella	oro	Total
1	6,21	4,13	10,34	0,62	0,41	1,03
2	7,34	4,12	11,46	0,73	0,41	1,15
3	13,01	5,83	18,83	1,30	0,58	1,88
4	12,81	13,04	25,85	1,28	1,30	2,58
5	8,40	9,81	18,20	0,84	0,98	1,82
Promedio	9,55	7,38	16,94	0,96	0,74	1,69

Los apartos 1 y 2 fueron los que contaron con una menor disponibilidad de MS tanto de pasto estrella como de botón de oro como se observa en el anexo 1, los apartos 3, 4 y 5 contaron con una mayor oferta de biomasa debido a la tasa de crecimiento de los forrajes. La variación entre la cantidad de biomasa disponible también está relacionada con su aprovechamiento, como se observa en el anexo 2, el aprovechamiento aumenta conforme aumenta la oferta del forraje.

En el caso del aprovechamiento del botón de oro, en promedio se encontró en un 54%, esto concuerda con lo descrito por Lazo et al. (2015), los cuales reporta valores de aprovechamiento de hasta un 53,10% con tiempos de rebrote de entre 60 a 90 días. Para esta evaluación se debe de tener en cuenta que la carga animal fue alta en un corto periodo de estancia en los apartos, así como una alta oferta de biomasa asociada a la fertilización aplicada (200 kg N/ha) a la *T. diversifolia*. Ambos factores podrían estar relacionados al alto porcentaje de aprovechamiento de la planta como lo menciona Lazo et al. (2015).

5.2.1 Calidad bromatológica y consumo de nutrientes

En la tabla 3, se muestra el análisis bromatológico de los forrajes utilizados en el SSP. Se determinó un contenido de materia seca de 21,97% en el pasto estrella y un 10,71% en el botón de oro, en el caso de la proteína cruda se obtuvo un valor de 13,78% en el pasto estrella el cual se encuentra sobre los valores reportados habitualmente para la FESL y un 19,47% en el botón de oro.

Tabla 3.

Calidad bromatológica del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y el botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en los potreros previo al ingreso de los animales.

Forraje	MS 60°C	MS 105°C	FND %	FAD%	LIG%	EE%	PC%	CE%	EM Mcal/kg	ENL Mcal/kg
Estrella africana	21,97	98,06	70,15	29,41	5,10	0,91	13,78	11,08	1,92	1,18
Botón de oro	10,71	97,30	45,06	27,34	14,66	2,54	19,47	16,23	1,92	1,18

MS: Materia seca, FND: Fibra neutro detergente, FAD: Fibra ácido detergente, LIG: Lignina, EE: Extracto etéreo, PC: Proteína cruda, CE: Cenizas, EM: Energía metabolizable, ENL: Energía neta de lactancia.

Se estimó la cantidad de proteína cruda (PC) y energía neta de lactancia (ENL) consumida por grupo de animales y de forma individual en los distintos apartos. En los dos últimos apartos, las plantas de botón de oro fueron la fuente principal de nutrientes para el animal, caso contrario en los 3 primeros apartos donde el pasto estrella fue el que aportó mayor PC y ENL. En la tabla 4 se puede observar el consumo de PC y ENL en cada apto.

En promedio, los animales consumieron diariamente 142 g de PC y 0,87 Mcal/kg de ENL por parte de la *T. diversifolia* y 134 kg de PC y 1,13 Mcal/kg de ENL del *C. nlemfuensis*, cumpliendo en sustituir el 15% del AB que se retiró de la dieta para el ensayo, siendo 0,77 kg de MS del AB con 18% PC y 1,85 Mcal/kg MS ENL, con un aporte a la dieta de 138,60 g de PC y 1,42 Mcal/kg de ENL.

Tabla 4.

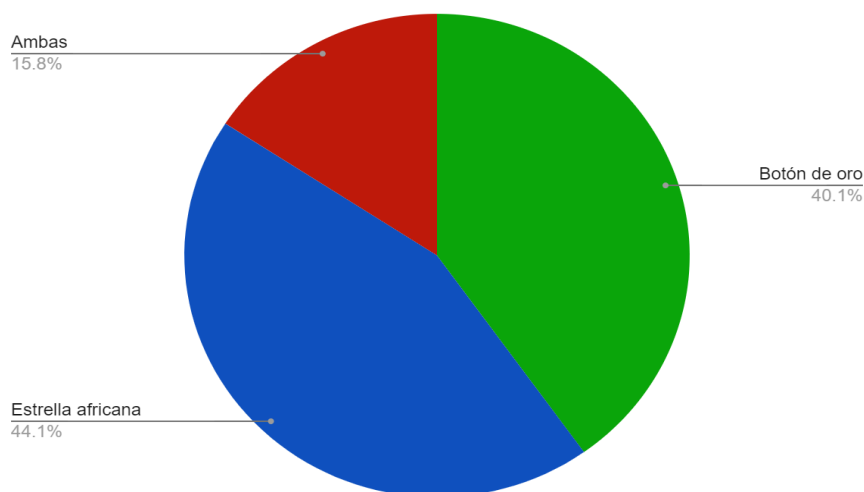
Cantidad de proteína cruda (PC) y Energía Neta de Lactancia (ENL) consumido por animal en los distintos apartos.

# Apto	Consumo de PC (Kg/animal/día)			Consumo de ENL (Mcal/kg/animal/día)		
	Estrella	Botón de oro	Total	Estrella	Botón de oro	Total
1	90	80	170	0,73	0,49	1,22
2	100	80	180	0,87	0,49	1,36
3	180	110	290	1,53	0,69	2,22
4	180	250	430	1,51	1,54	3,05
5	120	190	310	0,99	1,16	2,15
Promedio	134	142	276	1,13	0,87	2,20

Como se muestra en la figura 3, cuando los animales se encontraban DPC, la selección del forraje se logró identificar que durante el minuto de observación consumieron tanto el pasto estrella como el botón de oro siendo con un 44,1% y 40,1% respectivamente del total de las 328 observaciones de animales DPC.

Figura 3.

Distribución del forraje seleccionado por las vacas al momento de evaluar el comportamiento ingestivo (Comiendo) durante un minuto.



Además, se contó con un 15,80% en el cual los animales consumieron tanto pasto estrella como botón de oro durante la observación, con estos porcentajes uniformes se logra identificar que a pesar de la selección realizada por los animales no se presentó en este estudio una diferencia en la preferencia de consumo.

5.3 Costos de producción de MS en el SSP

Para la realización del análisis de los costos de producción del SSP, se observó que el costo del establecimiento es mayor al costo de mantenimiento, en el cual el rubro de la siembra es el de mayor aporte al costo siendo de ₡308 694, seguido se encuentra la infraestructura con un valor de ₡163 682 y finalmente los equipos ₡3 000 y un 3% de imprevistos que representa ₡14 261, dando un total de ₡489 637 para el establecimiento de una hectárea del SSP.

Por otra parte, como lo indica la tabla 6 los costos de mantenimiento son de ₡132 214 en total, siendo el rubro de mayor impacto la mano de obra (MO) en jornales de 8 horas basado en en los datos oficiales del ministerio de trabajo del año 2023, con ₡118 856 que se requieren para que el SSP se mantenga en condiciones óptimas. El costo de MO representa 90% del total de los costos de mantenimiento.

Como muestra la tabla 5, en los principales costos de establecimiento destaca la semilla, esto debido a que se contempla el viaje de recolección de la semilla de la estación INTA-Quepos hasta la FESL con la tarifa de un automóvil ida y vuelta. Otro de los rubros importantes es la infraestructura a implementar, está basada en el SSP actual presente en la FESL y equiparado a Ha/año.

Tabla 5.

Estructura de costos de establecimiento de un SSP con *T. diversifolia* por hectárea basado en el SSP utilizado para la evaluación realizada en la FESL.

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1. Infraestructura				
1.1 Aislantes	Unidad	50	¢158	¢7 888
1.2 Portillos	Unidad	20	¢2 387	¢47 740
1.3 Alambre Cerca	Metros	500	¢44	¢22 000
1.4 Mano de obra	Jornal	2	¢11 739	¢23 478
1.5 Tubería de agua	Metros	100	¢333	¢33 264
1.6 Bebedero	Unidad	4	¢7 328	¢29 312
2. Siembra <i>T. diversifolia</i>				
2.1 Semilla	Unidad	1272		¢250 000
2.2 Mano de obra	Jornal	5	¢11 739	¢58 694
3. Equipos				
3.1 Machete	Unidad	1	¢3 000	¢3 000
4. Imprevistos	Porcentaje	3		¢14 261
Total			¢36 727	¢489 637

En caso de los costos de mantenimiento como se observa en la tabla 6, estos son rubros principalmente de mano de obra para la realización de las distintas actividades de mantenimiento, fertilización y la uniformización de la *T. diversifolia* igualmente basado en el SSP establecido en la FESL y equiparado a Ha/año.

Tabla 6.

Estructura de costos de mantenimiento de un SSP con *T. diversifolia* por hectárea basado en el SSP utilizado para la evaluación realizada en la FESL.

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1. Mantenimiento				
1.1 Resiembra	Jornal	1	¢11 739	¢11 739
1.2 Control de malezas	Jornal	2	¢11 739	¢23 478
1.3 Reparación de cercas	Jornal	2	¢11 739	¢23 478
2. Uniformización de la <i>T. diversifolia</i>				
2.1 Mano de obra	Jornal	1,125	¢11 739	¢13 206
3. Fertilización				
3.1 Fertilizante (Urea)	Kg	34,34	¢389	¢13 358
3.2 Mano de obra	Jornal	4	¢11,739	¢46 955
Total			¢59 083	¢132 214

Tras realizar un análisis de los costos y como lo muestra la tabla 7, se logró obtener el costo por kilogramo de MS de la *T. diversifolia* en el SSP, llegando a ser ¢ 86,85 (0,17 USD) . Este costo es dependiente directo de la producción de biomasa producida en el SSP conforme los años aumentan. Este costo de MS podría representar una ventaja competitiva respecto a sistemas donde se utiliza AB el cual ronda los ¢ 300 por kg (0,59 USD).

Tabla 7.

Costo por kilogramo de MS y PC del ABC y *T. diversifolia* en colones y dólares

Costo Kg	CRC ¢	USD \$
MS ABC	300	0,59
MS <i>T. diversifolia</i>	86,85	0,17
PC ABC	1667	3,26
PC <i>T. diversifolia</i>	446,08	0,87

En el caso de la PC producida por la *T. diversifolia*, se obtuvo un valor de ¢ 446,08 (0,87 USD) de igual manera que la MS dependiendo de la cantidad de biomasa producida, en comparación con un alimento balanceado comercial (ABC) que contiene 18% de PC el cual su costo por Kg de PC ronda los ¢ 1667 (3,26 USD), siendo aproximadamente 4 veces mayor que en el SSP. Esto sin duda representa una ventaja comparativa al utilizar SSP.

Como es reportado por Arias, Alpízar et al. (2018), entre el 40% al 45% de los costos de alimentación del ganado lechero corresponden a ABC y este se puede llegar a suplementar hasta un 25% con *T. diversifolia* sin afectar la calidad bromatológica de la leche. Como en este caso, se logra observar que los costos del kg tanto de MS como de PC son menores al provenir de la *T. diversifolia* producida en el SSP en comparación con el uso de AB.

Como menciona López et al. (2019), el forraje es el recurso de menor costo en comparación a los AB u otras materias primas importadas que constituyen la base de la dieta del ganado lechero. En este caso se logró identificar esta oportunidad al ser el costo tanto de producción de MS y PC menor que el costo del ABC, lo que brinda una ventaja competitiva en los SSP que cuentan con una mayor cantidad de biomasa forrajera.

5.4 Estrategia de implementación de un sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia*

5.4.1 Diseño del SSP

Los SSP como lo menciona Del Pozo (2019), son diversos y cuentan con una compleja asociación de especies arbustivas, pastos y animales, en el cual se pueden utilizar distintos acomodos especiales así como especies ya sean pastos mejorados, arbustivas como *T. diversifolia*, morera (*Morus alba*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) entre otras; esto dependiendo de las condiciones de suelo, clima, altitud, entre otras, que caracterizan cada finca haciendo un escenario distinto la implementación de un SSP en cada finca.

El acomodo del sistema en este caso como se observa en la figura 4, es en franjas de *T. diversifolia*, este sistema en el momento de su establecimiento fue pensando en la etapa de desarrollo de terneras. Por lo cual, al momento de evaluar animales de producción los tiempos de pastoreo influyen en el acomodo espacial, siendo la principal limitante los tiempos de cosecha ideal ya que el pasto estrella cuenta con 28 días y la *T. diversifolia* con 56 días.

Para esto, se propone un acomodo distinto al utilizado, siendo *T. diversifolia* a los costados del potrero protegidos con cerca móvil como se observa en la figura 5, permitiendo hacer pastoreo a los 28 días con disponibilidad de *T. diversifolia* y también buscando reducir la pérdida de las líneas de forraje debido al empuje de los animales dentro del sistema.

Figura 4.

SSP con *T. diversifolia* utilizado en la FESL para la evaluación.



Figura 5.

Diagrama de un SSP con *T. diversifolia* con franjas protegidas a los costados del potrero



En este sistema se propone el utilizar 3 o 4 hileras de botón de oro a los costados del potrero con 192 o 151 plantas con una distancia de planta de 0,50m x 2m entre hilera y permitiendo un espacio de 1m cada 50 plantas para el paso de los animales, para evitar el empuje de los animales que ocasiona pérdida de plantas del botón de oro y contar con un total de 6 a 8 hileras por potrero de 3000m² (100mx30m) con un total de plantas de 1152 a 1208. Sin embargo, la densidad de plantas puede aumentar o disminuir según el tamaño de los potreros de la finca como en el caso de la FESL en el cual se utilizaron 3 líneas de 60 plantas en 500m².

El uso de otras especies arbustivas como la leucaena, como cerca viva puede llegar a ser una opción para producir una mayor cantidad de biomasa que permita generar una mayor cantidad de alimento de calidad para los animales que ocupen el SSP.

Otro punto importante es el consumo a fondo de los forrajes por parte de los animales, en este caso se logró observar esto en los tres medio días de ocupación, por lo cual el pastoreo de un día por apartó se podría mantener con la adecuada carga animal.

Para la estimación de la carga animal se debe de tener en cuenta la biomasa disponible de las especies forrajeras presentes en la finca en el caso de los pastos para realizar la estimación se puede realizar por el método de Botanal que se ejemplifica en la figura 6, el cual consiste en

utilizar un marco de 0,50cm x 0,50cm para cosechar 0,25m² de la pastura utilizando 5 patrones (alto, medio-alto, medio, medio-bajo y bajo) según la cantidad de forraje visible dentro del potrero tomando 10 muestras por patrón para un total de 50 muestras y así promediar la disponibilidad de pasto por potrero (Buono et al., 2020).

Para la estimación de la biomasa producida por el botón de oro, se recomienda al igual que en la metodología de botanal realizar una cosecha de 3 plantas por cada línea con 3 espectros (alto, medio y bajo) según el tamaño de la planta y cosechando al ras para así promediar la producción del botón de oro por potrero.

Una vez estimada la biomasa de los forrajes dependiendo de la raza, edad y requerimientos de los animales de la finca se puede obtener la capacidad de animales que pueden pastorear sin sobre exigir los potreros para así evitar el aumento del suplemento requerido para los animales y para evitar la degradación de la pastura y suelo.

Figura 6.

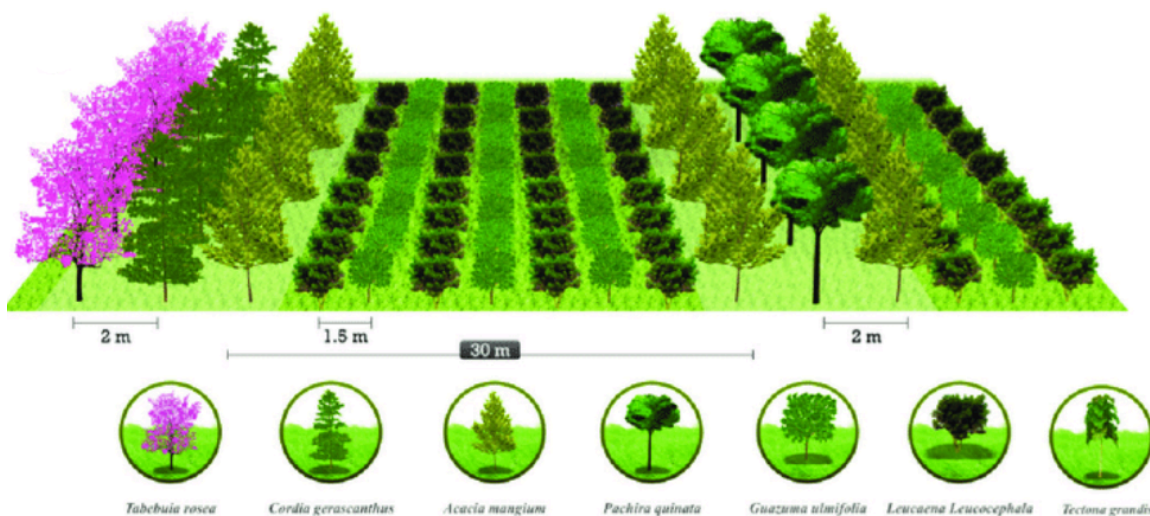
Realización de botanal con un marco de 0,25m² en pasto estrella (*C. nlemfuensis*) en la FESL.



Dentro de los SSP cabe destacar los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), los cuales hacen un mayor uso de especies aumentando no solo la cantidad sino también la densidad de siembra, un caso de esto es el ejemplificado en la figura 7 por Tarazona et al. (2017), en el cual se utilizan sistemas de alta densidad con 8 especies en total dentro del potrero, 2 de ramoneo 2 de pastoreo y 4 destinadas a maderables.

Figura 7.

Ilustración del arreglo de plantas utilizado en un SSPi. Adaptado de (Tarazona, et al., 2017).



5.4.2 Selección de las especies a utilizar

Las especies forrajeras disponibles son variadas y estas dependen de las condiciones edafoclimáticas de la finca en la que se vayan a implementar, el primer grupo a considerar son los pastos, entre estos podemos encontrar pasturas de altura como: kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina* / *Pennisetum clandestinum*), rye grass (*Lolium perenne*) y otros como *Phalaris* sp., San Juan (*Setaria sphacelata*) y festulolium (*Festuca arundinacea x Lolium perenne*). Seguidos los pastos de zona media o baja como: pasto estrella (*C. nlemfuensis*), pasto Guinea (*Megathyrsus* spp.), braquiárias (*Brachiaria* spp.), jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), limpo grass (*Hemarthria altissima*), pangola (*Digitaria decumbens* var. *Trasvala*), ratana (*Ischaemum ciliare*) y suazi (*Digitaria swazilandensis*) (Martínez, 2019).

Otras de las especies son las leguminosas herbáceas, como mencionan Murgueitio, Flores et al. (2015), pueden ser plantas como pega-pega (*Desmodium* spp.), trébol blanco (*Trifolium repens*), maní forrajero (*Arachis pintoi*), campanillas (*Centrosema* sp. y *Clitoria ternatea*) mucuna (*Mucuna pruriens*), dolichos (*Lablab purpureus*), crotalaria (*Crotalaria juncea*), tanto como plantas arbustivas como la leucaena (*Leucaena leucocephala*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*) o botón de oro (*Tithonia diversifolia*).

De igual forma se encuentra el componente arbóreo que puede ser con finalidad maderable como caoba (*Swietenia macrophylla*), teca (*Tectona grandis*), cedro tropical (*Cedrela*

odorata), melina (*Gmelina arborea*), entre otros. También pueden contar con finalidad forrajera como el cenízaro (*Samanea saman*), oreja o Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), madero negro (*Gliricidia sepium*), poro (*Erythrina* spp.) (Murgueitio, Flores et al., 2015).

Entre las plantas arbustivas destaca la *T. diversifolia*, debido a su capacidad de generar biomasa y el porcentaje de PC que esta planta sintetiza. El establecimiento de esta plantación consiste en el uso de semilla asexual o esquejes con una edad mayor a los 60 días con un tamaño de 20cm a 30 cm para que el establecimiento sea exitoso, con una distancia de 0,5 metros entre plantas.

Para el establecimiento de la *T. diversifolia* se debe de tener en cuenta que es una planta con alta robustez, de fácil establecimiento y resistente a la cosecha. En la FESL se ha logrado su establecimiento exitoso haciendo una siembra bajo la mínima labranza de suelo, preparando únicamente con una chapea mecanizada y con la siembra de estacas directo al suelo o con ayuda de una macana que brinda facilidad para colocar las estacas (Paniagua et al., 2019).

5.4.3 Manejo del pastoreo

En el manejo del pastoreo como se mencionó previamente el tiempo ideal de cosecha es importante para lograr realizar un buen aprovechamiento del forraje disponible, en el caso de la *T. diversifolia* el tiempo de rebrote son de 56 días para obtener la mejor relación de biomasa y calidad bromatológica en las condiciones de la FESL (Paniagua et al., 2019). Además, se debe de realizar una uniformización como se observa en la figura 8 tras el pastoreo debido a que el animal selecciona las hojas y tallos tiernos de las plantas principalmente, dejando parte del tallo sin consumir o causando el pisoteo del tallo residual causando que la planta no rebrote de forma homogénea y sea más difícil el acceso del animal al momento de consumir.

Figura 8.

Realización de uniformización del botón de oro (*T. diversifolia*) en la FESL.



En el caso del pasto estrella, el tiempo de pastoreo ronda los 28 días generando un desfase en los tiempos de pastoreo por lo que se debe proteger la *T. diversifolia* como se propone en la figura 5. El uso de un alambre de cerca eléctrica móvil permite brindar el acceso a los animales en un momento determinado permitiendo proteger las plantas de botón de oro de ser consumidas y facilitando el manejo del SSP.

De igual forma estimar la cantidad de biomasa disponible en el SSP, es esencial para el manejo del pastoreo y cantidad de animales que el sistema pueda soportar como en el caso de este estudio en el cual se aplicó una carga animal alta, pero en periodos cortos de estancia en los potreros.

Por otra parte, la fertilización permite al forraje contar con una mayor cantidad de biomasa producida así como los fertilizantes nitrogenados como la urea aumentan la producción de proteína por parte de la *T. diversifolia* y para hacer un mayor aprovechamiento del fertilizante se recomienda el fraccionamiento de la fertilización en tres o cuatro aplicaciones por año y no solo una aplicación.

La aplicación de fertilización puede realizarse tanto en forma orgánica como en forma sintética con fertilizantes comerciales, para el botón de oro, Rivera, Chará, Gómez, Ruíz y Barahona, (2019) realizaron una aplicación de fertilizantes sintéticos de 16,22 g por planta de Urea, 2,15 g por planta de DAP y 4,89 g por planta de KCL respectivamente esto con base a la extracción esperada de nutrientes de *T. diversifolia*, donde se ha calculado que plantas con una

edad de 40 días extraen: 8,26 g de nitrógeno, 4,30 g de potasio, 1,07 g de fósforo, y 2,11 de hierro.

Las posibles plagas, arvenses y enfermedades como lo describe Zabala (2021), no se cuenta con especies de afectación económica de importancia sobre la *T. diversifolia*; Sin embargo, algunos insectos o fitopatógenos pueden estar presentes en las plantas de este forraje. De igual forma para la fecha de esta investigación no sé encontraron reportes de organismo patógenos de importancia sobre la *T. diversifolia*. No obstante el monitoreo siempre es importante dentro de cualquier producción.

Por el contrario, Ochoa et al. (2018), reporta que la incidencia de algunos insectos chupadores como *Collaria oleosa* y *Draeculacephala* sp. disminuyeron en un 54% y 59% respectivamente en SSP que contaban con *T. diversifolia* en comparación a sistemas de pastoreo de únicamente pasto.

5.4.4 Inversión inicial y costos operativos

La viabilidad económica de un SSP con las condiciones brindadas en la FESL demostró ser positiva, tras realizar un análisis del flujo en comparación con el ahorro en alimento AB equivalente. De igual manera, el costo por kilogramo de MS y PC resultaron ser menores en comparación con los aportados por el alimento comercial. Rondando los ₡ 86,85 (0,17 USD) el precio del kilogramo de MS y ₡ 446,08 (0,87 USD) el precio del kilogramo de PC, ambos dependiendo de la cantidad de biomasa producida.

La inversión inicial para un sistema de estos como se observa en el anexo 3, a través del flujograma, ronda los ₡ 950 721,01 incluyendo costos totales y capital de trabajo para iniciar el establecimiento en el año 0, en relación al porcentaje de producción de la *T. diversifolia* con el pasar de los años y el manejo agronómico que se le brinde como uniformización, fertilización, rotación y resiembra o mantenimiento del sistema este costo puede variar.

5.4.5 Beneficios económicos y ambientales

Se ha demostrado un gran potencial en el uso de la *T. diversifolia* en la captación de carbono en el suelo, debido a que esta planta al descomponerse en carbono orgánico del suelo forma estructuras de carbono estables como carbonatos que al mismo tiempo facilitan la retención de cationes del suelo y captación de metales mediante procesos de quelación. De igual

forma, se han encontrado aumentos en el pH del suelo tras la utilización de compost con *T. diversifolia* al 50% (Mlangeni y Chiotha, 2013).

Esta planta también ha demostrado el potencial de disminución de la metanogénesis en el rumen debido a la presencia de taninos, fenoles y otras moléculas dentro de su composición que cambian las poblaciones de los organismos del rumen; También, la composición alta en PC y bajos valores de fibra propician la digestibilidad y aprovechamiento del forraje por el animal (Rivera, Chará, Gómez, Ruíz y Barahona, 2018).

Por otra parte, algunos factores de calidad de suelo como son la porosidad, pH, humedad del suelo y la materia orgánica se han visto mejorados en plantaciones con *T. diversifolia*, esto en relación al desarrollo de raíces y cantidad de biomasa producida así como la biomasa que se reintegra al suelo como abono verde, además el uso conjunto de enmiendas tanto químicas como orgánicas pueden ayudar a la recuperación y mejoramiento de suelos compactos (Contreras y Ruge, 2021).

Esta planta a pesar de no ser de la familia Fabaceae (leguminosas), cuenta con un potencial de fijación de nitrógeno (N) y de solubilización del fósforo (P) del suelo, esto mediante relaciones con bacterias endófitas en la simbiosis generada con los exudados radicales que le permiten a la planta asimilar y fijar el N. Seguido, los exudados y el aumento en el pH del suelo facilitan la solubilización y disponibilidad del P del suelo (Rivera, Chará, Gómez, Ruíz y Barahona, 2018).

5.4.6 Plan para enfrentar eventos climáticos

Los SSP son una herramienta en la adaptación al cambio climático, el uso de distintas especies forrajeras dentro de los sistemas de producción ganadera demuestra una mayor capacidad de fijación de carbono así como la disminución en las emisiones de metano; Además, las especies con raíces más profundas permiten mejorar la estructura del suelo así como ser más resistentes a la sequía. De igual manera, estos cuentan con mayor capacidad de carga animal, así como una mayor disponibilidad de alimento de mayor calidad como lo son los bancos de proteína (Murgueitio, Chará, et al., 2014)

Por otra parte, el uso de especies arbustivas como la *T. diversifolia* no solo aportan mayor calidad alimenticia, también proporcionan sombra a los animales en las horas más cálidas y funcionan como rompevientos en días más ventosos y fríos. Durante la evaluación, como se

observa en la figura 9, se logró identificar animales aprovechando la sombra provista por las plantas de *T. diversifolia*.

Figura 9.

Sombra provista por la *T. diversifolia* y el aprovechamiento de esta por parte de los animales evaluados.



6. Conclusiones

El consumo de alimento se identificó mayormente en la hora posterior al ingreso al SSP, por otra parte, la hora de menor consumo dentro del sistema fue de 11:00 a las 12:00 y la rumia estuvo presente de mayor forma en las horas de la tarde y previo a la salida del SSP.

Se logró demostrar el consumo de la planta botón de oro (*T. diversifolia*) en un porcentaje similar al pasto estrella (*C. nlemfuensis*) dentro de SSP.

Tras el análisis de costos se logró observar menor costo tanto de la MS como PC producida en el SSP en comparación a la aportada por el alimento concentrado comercial.

El diseño de la estrategia brinda de forma resumida la experiencia, así como áreas específicas que requieren atención y mejora buscando un avance continuo en el ámbito de aplicación en campo, para brindar así una implementación más exitosa y sostenible en el futuro.

7. Recomendaciones

Evaluar la productividad de leche en los animales dentro del SSP con la finalidad de determinar el impacto de la suplementación con la biomasa ofrecida por el sistema.

Determinar a largo plazo el efecto de la implementación de un SSP sobre el suelo, su estructura, fijación de nitrógeno y captación de carbono como parte de los beneficios encontrados en la literatura.

Evaluar el comportamiento ingestivo en SSP durante las 24 horas del día para obtener una visualización más completa de este, teniendo en cuenta los efectos de la temperatura que se lograron observar en esta evaluación.

Visualizar una estrategia de implementación distinta según la región donde se planea implementar SSP con botón de oro.

7. Referencias bibliográficas.

- Angulo Arizala, J., Nemocón Cobos, A. M., Posada Ochoa, S. L., y Mahecha Ledesma, L. (2022). Producción, calidad de leche y análisis económico de vacas holstein suplementadas con ensilaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) o ensilaje de maíz. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 27-40. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612022000100027#
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1998). *Official methods of analysis of AOAC International* (16th ed., 4th rev.). Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.
- Arias Gamboa, L. M. (2018). Evaluación del uso de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) como suplemento de vacas Jersey en etapa productiva [Tesis Licenciatura]. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14864/TFG_Mauricio%20Arias%20Gamboa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arias Gamboa, L. M., Alpízar Naranjo, A., Camacho Cascante, M. I., Arronis Díaz, V., y Padilla Fallas, J. (2018). Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. *Pastos y Forrajes*, 41(4), 266-272. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942018000400005&script=sci_arttext
- Arias Gamboa, L. M., López Herrera, M., Castillo Umaña, M., y Alpízar Naranjo, A. (2023). Fertilización y edad de rebrote sobre rendimiento y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia*. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3).
- Arronis, V., Abarca, S., y Soto, R. (2019). Degradación Ruminal Efectiva de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Alcances Tecnológicos*. http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/188/172
- Benavides, A., López, E., López, F., y Vivas, G. (2020). Influencia de los sistemas silvopastoriles en la conducta alimentaria de vacas lecheras Holstein. *Sathiri: sembrador*, 15(2), 199-206. <https://doi.org/10.32645/13906925.988>

- Buono, G., Utrilla, V., Nakamatsu, V., y Villa, M. (2020). Métodos de evaluación de los mallines patagónicos: Botanal y Pasturómetro. En *Métodos de evaluación de pastizales en Patagonia Sur* (pp. 161-188). INTA. ISBN 978-987-8333-48-9
- Calvo Hernández, O. (2021, Julio 2). Estimación del costo de producción de un kilogramo de leche y sus variables más influyentes. *Revista e-Agronegocios*, 7(2), 44-62: <https://doi.org/10.18845/ea.v7i2.5682>
- Camero Rey, L. A. (2020, Mayo 29). Fijación de carbono en un sistema silvopastoril (*Erythrina berteroana* Urban y *Brachiaria brizantha* CV Toledo) de una explotación lechera en la Región Huetar Norte de Costa Rica. *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, 2(2), 19-26. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/agroinn/article/view/5194/4921>
- Capelesso, A. (2020). Alimentación de vacas lecheras en pastoreo: factores que impactan en la eficiencia del uso de los alimentos. [Tesis de doctorado]. Universidad de la República. Uruguay. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29097/1/Tesis%20doctorado%20Capelesso%20-%20Agosto%202021%20Udelar.pdf>
- Castillo, M. (2018). Evaluación de Parámetros Productivos y Metabólicos En Vacas Lecheras Suplementadas Con Nabo (*Brassica Rapa* Ssp. Rapa L.) y Raps Forrajeros (*Brassica Napus* Ssp. Biennis L.). [Tesis de maestría] Universidad Austral de Chile, Valdivia. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/14177>
- Contreras Mejía, M. L., y Ruge Rojas, M. F. (2021). Evaluación de la especie *Tithonia diversifolia* como abono verde y promisorio en la recuperación de indicadores del suelo, susceptibles a la compactación en la Finca Ganadera “Santa Isabel” [Tesis de bachillerato]. Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/7081/Contreras_Mejia_Margarita_Liliana_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Correa-Calderón, A., Avendaño-Reyes, L., López-Baca, M., y Macías-Cruz, U. (2022). Estrés por calor en ganado lechero con énfasis en la producción de leche y los hábitos de consumo de alimento y agua. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(2), 488-509.
- Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Pina, D. S., Henriques, L. T., Paulino, M. F., Magalhães, K. A., ... & Chizzotti, M. L. (2008). Prediction of the energy value of cattle diets based on

- the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 143(1-4), 127-147.
- Del Pozo, P. P. (2019). Los sistemas Silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: Experiencias de su aplicación en Cuba. *Cadernos de Agroecología*, 14(2).
- Durán Álvarez, J., Matamoros Castillo, P., y Williams Rojas, N. (2020). Efectos de la desgravación arancelaria de los tratados de libre comercio en Costa Rica: caso del CAFTA-DR-USA. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/16620/1/45616.pdf>
- Elizondo Salazar, J. A. (2020). Estimación del suministro de proteína metabolizable en una ración para ganado de leche. *Nutrición animal tropical*, 14(2), 85-100.
- Erickson, P. S., y Kalscheur, K. F. (2020). Nutrition and feeding of dairy cattle. In *Animal Agriculture* (pp. 157-180). Academic Press. doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00009-4.
- García, S., y Pérez, F. J. (2020). The ruminant: Life history and digestive physiology of a symbiotic animal. *Sustainable and Environmentally Friendly Dairy Farms*, 19-45. doi.org/10.1007/978-3-030-46060-0_2
- Lazo, J. A., Fraga, G. A., Santos, L. T., y Sampaio, R. A. (2015). Comportamiento productivo de *Tithonia diversifolia* en pastoreo con reposos diferentes en ambas épocas del año. *Development*, 27, 6. https://www.researchgate.net/profile/Jatnel-Alonso-Lazo/publication/283653241_Productivity_performance_of_Tithonia_diversifolia_in_grazing_with_different_rest_times_during_both_seasons_of_year/links/5b1845dbaca272021cee215e/Productivity-performance-of-Tithonia-diversifolia-in-grazing-with-different-rest-times-during-both-seasons-of-year.pdf
- Lodoño, J., Mahecha, L., y Ángulo, J. (2019). Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray para la alimentación de bovinos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 11(1), 28-41. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2027-42972019000100028
- López, M., Rojas, A., y Briceño, E. (2019). Sustitución del pasto *Megathyrsus maximus* por guineo cuadrado y urea en mezclas ensiladas. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 179-193. <https://www.redalyc.org/journal/437/43757673012/43757673012.pdf>

- Martínez Machado, A. (2019). Tabla de composición bromatológica de forrajes utilizados para la alimentación de animales en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/80376.2>
- Martínez Melo, J., Serrano Torres, J. O., y Torres Cárdenas, V. (2022). Eficiencia productiva y económica en fincas lecheras del sector cooperativo según nivel de introducción de forrajes. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 210-218. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Mauricio, R. M., Calsavara, L. H. F., Ribeiro, R. S., Pereira, L. G. R., De Freitas, D. S., Paciullo, D. S., y Murgueitio, E. (2017). Feed ruminants using *Tithonia diversifolia* as forage. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 5.
- Mena, M., Hoek, R. V. D., y Díaz, M. F. (2020). Estudio de los esquemas de extensión para la ganadería en Centroamérica: Casos de Honduras, Nicaragua y Costa Rica.[Informe preliminar]. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/111482/%5B104%5D%20Estudio%20e%20esquemas%20de%20extensi%C3%B3n%20para%20la%20ganader%C3%ADa%20en%20Centroam%C3%A9rica.pdf?sequence=1>
- Mlangeni, A., y Chiotha, S. (2013). Potential of *Tithonia diversifolia* Chimato Composts in Enhancing Soil Carbon Sequestration. *Environment and Natural Resources Research*, 3(4), 58. https://www.researchgate.net/profile/Angstone-Mlangeni/publication/272688079_Potential_of_Tithonia_diversifolia_Chimato_Composts_in_Enhancing_Soil_Carbon_Sequestration/links/56cecf908ae85c823407736/Potential-of-Tithonia-diversifolia-Chimato-Composts-in-Enhancing-Soil-Carbon-Sequestration.pdf
- Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Cuartas, C., y Naranjo, J. (2014). Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 17(3), 501-507. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93935728001.pdf>
- Murgueitio, E., Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C. H., y Uribe, F. (2015). Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico*, 402, 59-101.

- Murillo Torres, L. (2022, Agosto 25). *Estructura de Costos y Flujos de Costo en Fincas de Cría*. CORFOGA.
<https://www.corfoga.org/download/estructura-de-costos-y-flujos-de-costo-en-fincas-de-cria/>
- National Academies of Sciences, Engineering and medicine (NASEM), 2021. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
- National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 408 p.
- Núñez Torres, O. P., y Rodríguez Barros, M. A. (2019). Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(1), 24-37.
- Ochoa, D. E., Lopera, J. J., Márquez, S. M., Calle, Z., Giraldo, C., Chará, J. y Murgueitio, E. (2017) Los sistemas silvopastoriles intensivos contribuyen a disminuir el ataque de chupadores en pasto kikuyu (*Cenchrus clandestinus*). *Livestock Research for Rural Development*. Volume 29(5). <http://www.lrrd.org/lrrd29/5/lope29082.html>
- Ortiz Texon, M. (2021). Indicadores de bienestar en vacas lecheras en pastoreo con acceso a sombra artificial.[Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/4e2041b3-7775-4f7a-9522-1f60fafba992/content>
- Paniagua Hernández, D., Castillo Umaña, M. Á., Arias Gamboa, L. M., Alpizar Naranjo, A., y Padilla Fallas, J. (2019). *Evaluación productiva y bromatológica del "Botón de oro" (Tithonia diversifolia) como suplemento alimenticio en rumiantes* (1, 1st ed.) [Boletín técnico]. Heredia, Costa Rica.
- Pérez Chaves, G. (2019). *Reconocer el estado de las tecnologías forrajeras en Costa Rica* [Presentación Powerpoint]. En: Congreso Nacional Lechero, (2019, San José, Costa Rica).
<https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/20.500.13077/338/Congreso%20Nacional%20Lechero%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Pérez E., Delagarde R. y Delaby, L. (2008). Herbage intake and behavioural adaptation of grazing dairy cows by restricting time at pasture under two feeding regimes, *Animal*, 2(9), 1384-1392. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002486>.
- Rivera, J. E., Chará, J., Gómez, J. F., Ruíz, T., y Barahona, R. (2018). Variabilidad fenotípica y composición fitoquímica de *Tithonia diversifolia* A. Gray para la producción animal sostenible. *Livestock Research for Rural Development*, 30(12), 1-20.
- Rivera, J. E., Chará, J., Gómez, J. F., Ruíz, T. E., y Barahona, R. (2019). Identificación y evaluación de ecotipos destacados de *Tithonia diversifolia* A. Gray para la producción en sistemas silvopastoriles en suelos ácidos de Colombia. En *X CONGRESO INTERNACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES por una producción sostenible* (pp. 375-383). Editorial CIPAV. ISBN 978-958-9386-91-0
- Roca, A. I. Ferris, C. P. Vance, E. R. González, Y A. (2010). Comportamiento animal de vacas Holstein-Friesian en dos sistemas: pastoreo y estabulación. In *Pastos: fuente natural de energía: 4ª Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes, 3-6 mayo, Zamora-Miranda do Douro* (pp. 359-364). Servicio de Publicaciones. https://www.researchgate.net/profile/A-I-Roca-Fernandez/publication/280721502_Comportamiento_animal_de_vacas_Holstein-Friesian_en_dos_sistemas_pastoreo_y_estabulacion/links/5ed659ad299b1c67d32c15c/Comportamiento-animal-de-vacas-Holstein-Friesian-en-dos-sistemas-pastoreo-y-estabulacion.pdf
- Ruiz, E. R. J., González, W. F., y Pesantez, L. P. (2019). Sistemas silvopastoriles y cambio climático: estimación y predicción de biomasa arbórea. *La Granja*, 29(1), 44-55. <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/29.2019.04>
- Skonieski, F.R., Souza, E.R.d., Gregolin, L.C.B. Fluck, A.C., Costa, O.A., Destri, J. y Neto, A.(2021). Physiological response to heat stress and ingestive behavior of lactating Jersey cows in silvopasture and conventional pasture grazing systems in a Brazilian subtropical climate zone. *Trop Anim Health Prod*, 213(53). <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02648-9>
- Tarazona, A. M., Ceballos, M. C., Correa, G., Cuartas, C. C. A., Naranjo, J. F., y Paranhos da Costa, M. J. R. (2017). Welfare of cattle kept in intensive silvopastoral systems: A case report. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(6), 478-488. DOI: 10.1590/s1806-92902017000600002

- Thompson, J. S., Barboza, D., Vásquez, A. P., y Paniagua, J. (2022). Optimización del costo de alimentación para ganado de engorde en Guanacaste, Costa Rica. *e-Agronegocios*
- Van Soest, P.J. y Robertson, J.B. (1985). Analysis of forages and fibrous food. AS 613. Cornell University, A Laboratory Manual. Department of Animal Science. Ithaca NY. 613p.
- Vázquez, A., Vázquez, Á. C., Iriban Díaz, C. A., Castillo Almeida, G., y Benítez Odio, M. (2021). Sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia* establecida con mínimo laboreo, alternativa tecnológica a fomentar en sistemas ganaderos. *Avances*, 23(3). <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869395003/637869395003.pdf>
- Villarreal, L. R. (2020). *Caracterización de la ganadería lechera familiar en los distritos de Tayutic, Tuis y La Suiza, Turrialba, Costa Rica*. [Tesis de Maestría]. Turrialba, Costa Rica. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/11638/Caracterización_de_la_ganadería_lechera_familiar.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zabala, B. (2021). Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) como alternativa sostenible en granjas de producción con especies de interés zootécnico en Colombia. [Tesis de bachillerato]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Girardot, Colombia. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/44738/1/bzabalal.pdf>

9. Anexos

Anexo 1.

Cantidad de materia seca (MS) por forraje disponible en Kg en los distintos apartos y la MS total.

# Apto	MS Disponible		MS total
	Estrella	Botón	
1	41.60	26.52	68.11
2	49.45	29.35	78.79
3	63.04	38.56	101.60
4	75.34	50.55	125.89
5	58.00	47.90	105.90
Total	287.43	192.87	480.29

Anexo 2.

Porcentajes de aprovechamiento de los forrajes por apto

# Apto	% Aprovechamiento	
	Estrella	Botón
1	44.79	46.69
2	44.55	42.08
3	61.90	45.33
4	51.01	77.37
5	43.43	61.43

