

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS**

**VALOR NUTRICIONAL DE ENSILAJE DE MAÍZ (*Zea mays* (L.))
Y CAUPÍ (*Vigna unguiculata* (L.)) COMO CULTIVO ASOCIADO EN
DIFERENTES PROPORCIONES EN FINCA LA ESMERALDA,
SANTA CLARA, ALAJUELA, COSTA RICA**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

LUIS CARLOS CORDERO HERNÁNDEZ



Carrera de Ingeniería en Agronomía
Campus Tecnológico Local
San Carlos
2019 - 2023

Costa Rica

2020

**VALOR NUTRICIONAL DE ENSILAJE DE MAÍZ (*Zea mays* (L.))
Y CAUPÍ (*Vigna unguiculata* (L.)) COMO CULTIVO ASOCIADO EN
DIFERENTES PROPORCIONES EN FINCA LA ESMERALDA,
SANTA CLARA, ALAJUELA, COSTA RICA**

LUIS CARLOS CORDERO HERNÁNDEZ

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

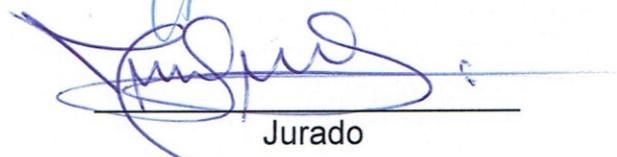
Ing. Agr. Alberto Camero Rey, M. Sc.


Asesor principal

Ing. Agr. Wilfrido Paniagua Madrigal, MGA


Jurado

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, PhD.


Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.


Coordinadora

Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, PhD


Director
Escuela de Agronomía

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por darme la fuerza, salud y sabiduría para salir adelante en cada una de las etapas de mi carrera.

A mis padres Jorge Cordero Pérez y Arnis Hernández Brenes por apoyarme y confiar en mis capacidades a pesar del cambio de rumbo que tomé antes de empezar este maravilloso camino de la ingeniería en agronomía. A mis hermanos, por estar ahí cuando los necesitaba y especial agradecimiento a Daniela Torres por apoyarme en todo momento.

A los profesores que en cada paso que daba me llenaban de conocimientos y entusiasmo para cada vez más amar este mundo de la agronomía. A mis compañeros, que poco a poco se convirtieron en colegas y que de una u otra manera me ayudaron a concluir con éxito este trabajo. A Amoin, Keilor y Milagro por su ayuda.

Al Ing. Agr. Alberto Camero Rey por su gran papel como asesor de tesis y abrirme las puertas para llevar a cabo este trabajo; al Ing. Agr. Wilfrido Paniagua Madrigal y Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, por sus aportes para realizar las pruebas de laboratorio.

Al Departamento de Becas del campus local San Carlos, por su apoyo y aporte económico en todos los procesos que así lo ameritaron; gracias a esta ayuda es posible la conclusión de mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
TABLA DE CONTENIDO	ii
LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis de investigación.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 El Caupí (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp).....	4
2.2 Maíz (<i>Zea mays</i> (L.)).....	7
2.3 Ensilajes.....	10
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Localización del estudio	17
3.2 Determinación de la edad de cosecha del caupí.....	17
3.3 Ensayo para ensilaje de cultivos en asocio maíz y caupí.....	18
3.3.1 Establecimiento del cultivo y manejo agronómico	18
3.3.2 Diseño experimental	19
3.3.3 Cosecha y elaboración del ensilaje	21
3.3.4 Variables evaluadas	22

3.4.	Análisis estadístico.....	23
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1.	Producción de biomasa y contenido de materia seca	25
4.2.	Parámetros organolépticos	27
4.3.	Contenido de nitrógeno total, proteína cruda, FAD, FND y cenizas del ensilaje	29
5	CONCLUSIONES	32
6	RECOMENDACIONES.....	33
7	BIBLIOGRAFÍA (CITADA O CONSULTADA)	34
8	ANEXOS.....	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro No.	Título	Página
1	Fertilización recomendada para el cultivo de caupí, según dosis y tiempos de aplicación.	5
2	Composición nutricional del forraje de caupí mediante pruebas bromatológicas en porcentaje (%).	7
3	Parámetros para evaluar ensilajes por características organolépticas según color, olor y textura.	12
4	Rangos óptimos de los parámetros de valor nutricional para establecer valor nutritivo en un ensilaje de gramíneas asociado con leguminosas. Fuente correspondiente. 2019.	13
5	Producción de biomasa (kg ha-1) encontrados por cultivo y tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.	26
6	Porcentaje de materia seca del ensilaje según tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.	27
7	Valores porcentuales obtenidos de la prueba de parámetros organolépticos con panel sensorial, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.	28
8	Promedio de pH obtenidos de muestra del ensilaje en cada tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019	29
9	Valores promedio de las pruebas bromatológicas aplicadas al ensilaje según tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019	31

LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Título	Página
1	Valores bromatológicos de las muestras según la edad del caupí en días después de emergencia. fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), proteína cruda (PC) en % y cenizas (CE) en %, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.	18
2	Croquis de la distribución espacial de los tratamientos y repeticiones en el área experimental de los cultivos asociados, durante estudio de valor nutricional de ensilajes a partir de dicha materia prima. Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.	20
3	Distribución espacial de las plantas, mostrando la entrada de luz hacia las plantas de caupí, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.	21
4	Método de ensilado utilizado, donde: A-Peso del material fresco en estañones, B-Molienda del material fresco a ensilar, C-Bolsas selladas con material triturado dentro debidamente etiquetadas, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITC CTLSC, 2019.	22

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción y valor nutricional de un ensilaje a base de maíz y caupí sembrados en asocio a diferentes proporciones: 100% maíz para el tratamiento T1, 70% maíz y 30% caupí para el tratamiento T2 y 60% maíz y 40% caupí para el tratamiento T3. Se establecieron cinco repeticiones por tratamiento, se pesó el material para determinar la producción de biomasa y materia seca, se ensilo en bolsas de 100 kg. Transcurriendo 30 días se abrieron las bolsas y se tomaron muestras para evaluar la calidad nutricional del material ensilado, calidad fermentativa, propiedades organolépticas con panel sensorial, pH, PC, Cenizas, %MS, FND y FAD con pruebas bromatológicas en laboratorio. Los resultados obtenidos muestran que la producción de biomasa de maíz fue alta en todos los tratamientos, alcanzando 41,5 t ha⁻¹ en densidades de siembra de 66 000 pl ha⁻¹ en el tratamiento de solo maíz y sin encontrar diferencias significativas entre los cultivos sembrados en asocio (maíz: caupí). En producción de biomasa de caupí se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos de maíz sembrado en asocio con caupí, teniendo producción muy por encima el tratamiento con 60%maiz y 40% caupí, con 2,3 t ha⁻¹. Las diferencias fueron no significativas en la producción de %MS entre los ensilajes obtenidos de los cultivos sin importar la proporción de siembra. Los datos del panel sensorial indicaron que los ensilajes obtenidos de los cultivos sin importar la proporción de siembra tuvieron una fermentación correcta, con color amarillo, olor agradable y texturas deseadas, con valores de pH dentro del rango deseado (3,5 a 4,5). Se encontraron diferencias altamente significativas en cuanto al N-Total (T3 2,03%, T2 1,84% y T1 1,68%) y Proteína (T3 12,67%, T2 11,50% y T1 10,49%), en Cenizas (T3 7,10%, T1 6,41% y T2 6,39%) y en FDN (T1 62,86%, T3 60,24% y T2 59,65%). Las diferencias fueron no significativas en FDA (T1 36,46%, T3 34,97% y T2 33,44%).

Palabras clave: calidad nutricional, proporciones de siembra, cultivos en asocio, parámetros organolépticos, pruebas bromatológicas.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the production and nutritional value of silage based on corn and cowpea sown in association with different proportions: 100% corn for the T1 treatment, 70% corn and 30% cowpea for the T2 and 60% treatment corn and 40% cowpea for the T3 treatment. Five repetitions per treatment were established, the material was weighed to determine the production of biomass and dry matter, it was ensiled in 100 kg bags. After 30 days, the bags were opened and samples were taken to assess the nutritional quality of the silage material, fermentative quality, organoleptic properties with sensory panel, pH, PC, Ash, % MS, FND and FAD with bromatological tests in the laboratory. The results obtained show that the production of corn biomass was high in all treatments, reaching 41.5 t ha⁻¹ in planting densities of 66 000 pl ha⁻¹ in the treatment of only corn and without finding significant differences between crops planted in association (corn: cowpea). In production of cowpea biomass, highly significant differences were found between treatments of corn planted in association with cowpea, with production far above the treatment with 60% corn and 40% cowpea, with 2.3 t ha⁻¹. The differences were not significant in the production of % DM between the silages obtained from the crops regardless of the sowing proportion. The data from the sensory panel indicated that the silages obtained from the crops regardless of the sowing proportion had a correct fermentation, with yellow color, pleasant smell and desired textures, with pH values within the desired range (3.5 to 4.5). Highly significant differences were found regarding N-Total (T3 2.03%, T2 1.84% and T1 1.68%) and Protein (T3 12.67%, T2 11.50% and T1 10.49%), in Ashes (T3 7.10%, T1 6.41% and T2 6.39%) and in FDN (T1 62.86%, T3 60.24% and T2 59.65%). The differences were not significant in FDA (T1 36.46%, T3 34.97% and T2 33.44%).

Keywords: nutritional quality, planting proportions, crops in association, organoleptic parameters, bromatological tests.

1 INTRODUCCIÓN

En Costa Rica uno de los principales retos en la producción animal es mantener una buena oferta alimenticia durante todo el año, en especial durante la época seca cuando la disponibilidad de forrajes, tanto en cantidad como en calidad, es deficitaria en la mayoría de los casos.

Las principales fuentes proteicas utilizadas en la suplementación animal son importadas, por ende, sujetas a la oferta y el precio, lo que repercute en la economía de los medianos y pequeños productores (Aguirre 2009). Es aquí donde adquiere importancia la implementación de tecnologías o técnicas que permitan la conservación de los forrajes y satisfacer exitosamente la demanda nutricional del animal, por lo que la práctica del ensilaje toma valor (Castillo *et al.* 2009).

Debido a su alto rendimiento de biomasa y su alto contenido de carbohidratos, que favorecen el proceso de fermentación, el maíz (*Zea mays*) es la especie de gramínea más utilizada en el trópico para ensilaje y como fuente de forraje en la suplementación bovina. El maíz presenta un contenido proteico relativamente bajo si lo comparamos con otros forrajes, en especial leguminosos, por lo que es importante mejorar su valor al mezclarlo con fuentes de alto contenido proteico como las leguminosas (Castillo *et al.* 2009). Una fuente interesante para combinar con el maíz puede ser el caupí (*Vigna unguiculata* (L.)), leguminosa de la familia *Fabaceae* que tiene un alto valor en Proteína Cruda de 19% - 23% (Díaz *et al.* 2002; Acevedo *et al.* 2009).

El caupí es considerado como buen forraje por su alto valor nutricional y también por su capacidad de producción, teniendo gran potencial como ensilaje mezclada con una gramínea como el maíz.

Un aspecto muy conocido es que las especies forrajeras, en especial las gramíneas, a medida que aumentan su edad fisiológica, disminuyen su valor nutricional, particularmente en su contenido de proteína y digestibilidad de la materia

seca. De allí que hay que tener muy presente la edad de cosecha para lograr un ensilaje de buena calidad.

En el caso de maíz se considera que, de los 75 días a 80 días después de la siembra, presenta mazorcas con granos en estado lechoso, siendo para muchos técnicos la edad mejor para cosechar y ensilar; de lo contrario puede verse reducido su valor nutricional.

El caupí, alcanza su edad óptima para ensilar antes que el maíz, obteniendo sus mejores valores de proteína y fibra detergente neutra entre los 35 a 40 días después de la siembra. A partir de esa edad éstos valores de proteína comienzan a descender.

Para contar con un buen ensilaje es necesario disponer con buena materia prima, de allí que en este caso se debe lograr que el forraje de maíz y el caupí se encuentren en su mejor edad fisiológica que garanticen un buen contenido de nutrientes.

Al igual que el valor nutricional, la proporción de los forrajes utilizados para mezcla en un ensilaje es importante para lograr una mayor cantidad del mismo. En el caso del maíz la producción de materia seca es mayor que el caupí, pero su valor nutricional es más bajo; por lo tanto, hay que buscar la mejor proporción de las especies utilizadas que nos permita mayor producción y mejor valor nutricional.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción y valor nutricional de un ensilaje a base de maíz y caupí sembrando los dos cultivos en asocio a diferentes proporciones (maíz sólo, y proporciones 70:30 y 60:40, de maíz y caupí, respectivamente).

1.1 Objetivo General

Determinar la producción de biomasa de los cultivos maíz:caupí sembrados en asocio y valor nutricional del ensilaje obtenido, en tres proporciones de siembra, utilizando como variables de respuesta características organolépticas y bromatológicas.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar el valor de la producción de biomasa (kg ha^{-1}) del asocio maíz-caupí bajo tres diferentes proporciones de siembra (maíz sólo y proporciones 70:30 y 60:40 de maíz y caupí, respectivamente).
- Evaluar las variables organolépticas (olor, textura y color) del ensilaje del asocio maíz-caupí bajo tres diferentes proporciones de siembra (maíz sólo y proporciones 70:30 y 60:40 de maíz y caupí, respectivamente).
- Determinar el valor nutricional (proteína cruda, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, cenizas y pH) del ensilaje producido del asocio maíz-caupí bajo tres diferentes proporciones de siembra (maíz sólo y proporciones 70:30 y 60:40 de maíz y caupí, respectivamente).

1.3 Hipótesis de investigación

La producción (kg ha^{-1}) de los cultivos (maíz y caupí) y el valor nutricional (Proteína Cruda, Fibra Detergente Neutra, Fibra Detergente Ácida, Cenizas y pH) del ensilaje maíz: caupí cultivados en asocio a una proporción 70:30 y 60:40, respectivamente, son mejores respecto al ensilaje de maíz sólo.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El Caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

El caupí es uno de los cultivos más adaptados a una amplia gama de suelos y tipos de clima. Crece desde 1 m sobre el nivel del mar (msnm) hasta los 1500 msnm - 1600 msnm. Es una excelente materia prima para ensilaje con gramíneas, tolerante a baja fertilidad de suelos y con altas tasas de fijación de nitrógeno (Obando 2012).

La planta del caupí tiene un sistema radicular muy desarrollado, con nódulos simbióticos para la fijación de nitrógeno, una raíz principal y muchas raíces secundarias. Así mismo posee tallos delgados débiles y angulosos con altura muy variable, que se dividen en crecimiento determinado e indeterminado según la aparición de la inflorescencia axilar o apical del tallo. En las variedades precoces o de maduración uniforme el ciclo dura de 60 días a 70 días y son de tipo determinado y las tardías son de tipo indeterminado con maduración desigual y su ciclo es de seis meses a ocho meses. Presenta diferentes hábitos de crecimientos: erecto, semierecto, postrado y semipostrado. El tamaño varía entre los 25 centímetros (cm) y 80 cm de alto (Albán *et al.* 2012).

Son plantas de día corto, con desarrollo inicial rápido y de alto crecimiento productivo. Las ramificaciones empiezan luego de la segunda semana de emergencia. Sus hojas son trifoliadas lanceoladas con pubescencia, fruto cilíndrico, colgante, recto, comprimido sobre la semilla, liso y dehiscente (Oporta & Rivas 2006). La cantidad de vainas por planta varía según altura y tipo de crecimiento (determinado e indeterminado), pero oscila en el rango de 18 vainas a 22 vainas. Los granos por vaina fluctúan entre doce y quince. La floración se genera en forma homogénea en las plantas de crecimiento determinado entre los 43 días y 51 días desde la siembra y la cosecha del grano seco para semilla o consumo se produce entre los 90 días y 95 días, según clima y manejo (Albán *et al.* 2012).

El caupí es un cultivo tropical adaptado a todo tipo de clima, en rangos de temperaturas de 20° C a 35° C y no tolera las temperaturas mayores a 40° C. Tolera precipitaciones óptimas de 750 a 1000 mm/año y alturas que van desde 1 msnm a los 1500 msnm. Todo tipo de suelo es utilizable para cultivarlas (arenosos, arcillosos, compactos, ácidos), con pH de 5,0 a 7,5 y tolera la salinidad. El fotoperiodo óptimo para la floración es de ocho horas a catorce horas, resistente a sequías, la alta humedad provoca daños en floración y en etapa de desarrollo de fruto. Para la siembra manual se utilizan distancias de 70 cm entre surcos y 20 cm entre golpe, a dos semillas por golpe. En siembra mecanizada se siembra a doble surco, 50 cm entre hileras y 90 cm entre pares de hileras con 16 semillas a 17 semillas por metro de surco (Albán *et al.* 2012).

Se recomienda dos tipos de fertilización (granular al suelo y foliar) para lograr un buen rendimiento (Cuadro 1). La primera se realiza al momento de la siembra, aplicando todo el fósforo (P), y otra posterior a la tercera semana alcanzando una fórmula de fertilización para una producción de una ton ha⁻¹ de 40 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 60 kg ha⁻¹ de fósforo (P) y 30 kg ha⁻¹ de potasio (K). Agregando dos aplicaciones de fertilización foliar con elementos menores (Zn, Fe, Mg, MN y Cu) más boro (Bo) antes de la floración y del llenado del fruto (Albán *et al.* 2012).

Cuadro 1. Fertilización recomendada para el cultivo de caupí, según dosis y tiempos de aplicación.

Fertilización	Tiempo de aplicación	Observaciones
Primera granular	A la siembra	Aplicar la dosis de fósforo (P) entera con fertilizante 10-30-10
Segunda granular	25 días después de la emergencia	Completar la fertilización granular con 26-0-26 o urea+nitrato de potasio
Primer Foliar	25 días después de la emergencia	Aplicar fertilizante foliar con elementos menores (Zn, Fe, Mg, Mn, Cu y Bo)
Segunda foliar	35 días después de la emergencia o antes de floración	Se puede hacer el primer día de floración: elementos menores (Zn, Fe, Mg, Mn, Cu y Bo)

Fuente: Albán *et al.* 2012

Como principales plagas del cultivo están los defoliadores como *Diabrotica sp.*, la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), *Spodoptera sp.*, *Hliothis sp.*, hormigas, gusanos de tierra, grillos, chupadores, lorito verde (*Empoasca sp.*), barrenador de brotes, mosca minadora, barrenadores de vainas (Albán *et al.* 2006) (Oporta & Rivas 2006). Entre las principales enfermedades se pueden citar *Cercospora sp.*, Antracnosis (*Colletotrichum sp.*), *Phytophthora vigna*, Tizón bacteriano (*Xanthomonas sp.*), *Fusarium oxysporum*, Virus del Moteado Clorótico del Caupí (CCMV, por sus siglas en inglés), Mildiu polvoso (*Erisiphe poligone*), Mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris Kuhn*) (Oporta & Rivas 2006) (Araya & Hernández 2006).

El caupí tiene un alto valor nutritivo tanto en grano verde como en seco, llegando a las 1300 calorías/kg en verde y presentando un alto valor nutritivo semejante a la alfalfa como forraje. Posee un 20% a 25% de proteína cruda (PC), 1% de extracto etéreo (EE), 23% a 24% de Fibra Detergente Neutro (FDN), 3,2% de ceniza y es rico en hierro, calcio y aminoácidos esenciales; su principal aporte en vitaminas son las del grupo B como tiaminas (B1), riboflavina (B12) y niacina (B5). El caupí presenta pocos factores anti-nutricionales y una digestibilidad aparente de 68%; al mismo tiempo muestra una alta digestibilidad en cuanto a sus aminoácidos en granos (Aguirre 2009).

En cuanto a la composición nutricional de la planta de caupí, Díaz (Díaz *et al.* 2002) concluyó en su estudio que esta varía según sea antes de la floración, después en grano verde o en grano maduro, ya que el avance fenológico de los cultivos produce una disminución del contenido de ceniza y proteína en follaje, con un incremento en el contenido de fibra, dependiendo también de las variedades. Asegura también que, si se usa el estadio de grano tres (vainas lechosas) se incrementa el valor proteico y baja la fibra gracias al aporte significativo de los granos y la poca pérdida en los otros elementos nutricionales. Menciona, además, que esta especie de leguminosas contiene alto valor en ácido glutámico, aspártico y lisina, siendo una excelente fuente también de niacina, tiamina, ácido ascórbico, vitaminas hidrosolubles y minerales.

Bueno *et al.* (2004) menciona rangos del valor nutritivo del forraje de caupí usado para alimentación en ganado (Cuadro 2), donde la digestibilidad *in vitro* de la materia seca anda entre un 42,5 a 44,2%, alto contenido de FDN y de PC. Asegura también que los contenidos en minerales son mayores que en algunas gramíneas de pastoreo y que aumenta la proteína cruda de ensilajes con gramíneas en un 10% si se adiciona en una proporción de 70:30 (gramíneas: leguminosas).

Cuadro 2. Composición nutricional del forraje de caupí mediante pruebas bromatológicas en porcentaje (%).

Parámetros	Valor
Proteína cruda (%)	12,0-24,0
FDN (%)	70,0-85,0
FDA (%)	52,7-53,4
DIVMS (%)	42,5-44,2
Fósforo	0,28-0,35
Calcio	0,87-2,33
Magnesio	0,30-0,49
Potasio	1,48-1,83

Fuente: Bueno *et al.* 2004.

2.2 Maíz (*Zea mays* (L.))

El maíz es una planta de usos múltiples y variados, siendo el único cereal empleado como alimento, humano y animal, en distintas etapas del desarrollo de la planta: espigas jóvenes antes de la floración, mazorcas tiernas, mazorcas verdes o lechosas, maíz seco en grano y la planta cosechada cuando las mazorcas están tiernas para el uso como forraje. Este es un aspecto muy importante del maíz, ya que proporciona diferentes oportunidades de alimentación y de conservación del forraje en la producción animal (MAG 2007).

En Costa Rica el área de producción, así como la producción han bajado significativamente; para los años 70's fue de 43 466 hectáreas produciendo 61 528 ton con rendimientos de 1,42 ton ha⁻¹, en el año 2014 en se tenían 15 750 hectáreas (MAG 2007) (Chacón 2017). En la actualidad se obtiene lo cultivado por pequeños productores con variedades locales o criollas, muy pocos usan híbridos mejorados para la producción de grano comercial, ya que se fueron perdiendo esos materiales genéticos. Chacón (2017) menciona que esta reducción se debió desafortunadamente a la firma de tratados comerciales, ya que los subsidios y la agricultura extensiva de bajos costos de los países desarrollados hicieron imposible que el pequeño productor de maíz nacional compitiera con los grandes países de América del Norte.

La mayoría de los híbridos actuales de alto rendimiento se manejan hacia la producción de elotes, ensilaje y de forraje para la ganadería. El Consejo Nacional de Producción (CNP) ha incentivado la producción de semilla de bajo costo con polinización libre, mayoritariamente con las variedades DA-8843 blanco y EJM-2 amarillo (Chacón 2017). En Costa Rica se utilizan semillas de grano blanco: las variedades Los Diamantes 8043 (DA-8043) y Tico V-7 y los híbridos B-833, X-5065, A3092, H-5, HS5G1, HS3G1. Así mismo se utiliza de grano amarillo: la variedad EJM-2 y los híbridos Pioneer, X-304 A, X-3214 (MAG 1991).

El maíz es una planta anual que tiene nueve estadios de desarrollo (germinación, desarrollo de hojas, crecimiento longitudinal del tallo, aparición del órgano floral, floración, formación del fruto, madurez de la fruta, semilla y senescencia) que su duración en días depende del tipo de grano (blanco o amarillo) y de la variedad (de ciclos largos y de ciclos cortos). La producción de forraje llega hasta el inicio del estadio 6 cuando el fruto este es lechoso. En promedio las variedades mejoradas de ciclo corto para la producción de forraje mantienen un ciclo total de 91 días, con una floración a los 57 días y la formación del fruto y su posterior maduración entre los 71 días y 91 días. Se puede dividir el desarrollo del fruto en tres partes de siete días cada uno, siendo la primera (1/3 de fruto) la edad ideal para utilizar la planta como forraje (Gaviria 2016).

El maíz se desarrolla en un rango de temperatura de 25° C a 30° C. Para germinación la temperatura debe ser de media a baja entre los 15° C y 20° C, con temperaturas mínimas de 8° C y máximas de 30° C, requiere bastante incidencia de luz solar, teniendo rendimientos bajos en climas muy húmedos. Además, necesita en promedio 1800 mm anuales de precipitación, pues requiere la total disponibilidad del agua para darse la floración, de diez días a quince días antes, y durante el cuajado del fruto, estas dos etapas son las más críticas en cuanto al riego. El maíz se adapta muy bien a todos los tipos de suelo con pH entre 6 y 7, con buen drenaje para evitar la asfixia radicular (MAG 2007).

Según el MAG (2007) la densidad de siembra es de 20 kg ha⁻¹ a 25 kg ha⁻¹ de semilla, con un mínimo de 80% de germinación para una densidad de 50 000 pl ha⁻¹ a 55 000 pl ha⁻¹. Sin embargo, como la menciona Aguilar (Aguilar *et al.* 2011), la densidad de siembra de 83 333 plantas ha⁻¹ supera a la de 50 000 y 62 500 en rendimiento para forraje. La distancia entre hileras recomendada por el MAG es de 75 cm a 90 cm y entre plantas de 20 cm a 25 cm de una semilla a dos semillas por golpe, dependiendo si se siembra en asocio o para semilla.

El maíz responde muy bien a la fertilización: cuanto más se fertilice más produce. Lo primero a tomar en cuenta es el resultado de los análisis de suelos, para conocer el nivel nutricional del suelo y fertilizar en función a eso y a la extracción del cultivo, así como sus necesidades específicas. Esta es una planta muy exigente; para suelos de fertilización media se recomienda: 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 60 kg ha⁻¹ de fósforo (P) y 40 kg ha⁻¹ de potasio (K), y para suelos de baja fertilidad: 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 90 kg ha⁻¹ de fósforo (P) y 50 kg ha⁻¹ de potasio (K). Toda la fertilización se debe manejar según lo indicado para el Cauquí en el Cuadro 1, pero con las cantidades antes descritas para maíz (MAG 1991).

Para términos más específicos, Gaviria (2016) menciona que para rendimientos de 1000 kg ha⁻¹, los requerimientos nutricionales de elementos mayores (N, P, K) son: 22 kg ha⁻¹ de N, 19 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 4 kg ha⁻¹ de K₂O, siendo el nitrógeno el más importante.

Entre las principales plagas y enfermedades se encuentran *Phyllophaga* sp. (joboto) que ataca la raíz, *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) que ataca los cogollos de la planta, así como las láminas foliares, los gusanos Lepidópteros *Agrotis* sp cortador de láminas y *Diabrotica* sp (gusano de la raíz). Dentro de las principales enfermedades se enumeran las manchas cafés (*Physoderma maydis*) mancha de asfalto (*Phyllochora maydis*), las royas (*Puccinia* sp y *Physopella zae*) *Curvularia* (*Curvularia lunata* y *C. pallesans*) y Tizón Foliar (*Helminthosporium maydis* y *H. turcicum*) (Estrada 2013 y MAG 1991).

El maíz es una planta forrajera muy utilizada por su alto contenido de fibra de gran calidad, donde su importancia se centra en promover la producción de ácidos grasos volátiles que al final se traducen en aumentos del contenido graso en leche (Vargas 2008). Otra característica importante en el valor nutricional del maíz es su alto valor en energía (Faz *et al.* 2001).

El maíz de edad precoz, de 85 días a 95 días, según lo encontrado por Gaviria (2016) en la variedad Pioneer en Colombia, alcanza el número de hojas máximo a los 70 días, justo en la floración. El índice de área foliar muestra un gran aumento luego del día 43, alcanzando un valor máximo de 5764,3 cm² a los 55 días después de emergencia (d.d.e). El punto máximo de crecimiento para la altura es en promedio a los 85 días después de emergencia (d.d.e.), día después del cual se inicia un proceso de senescencia. Para la materia seca, se alcanza el punto máximo de acumulación en promedio a los 78 d.d.e. De igual manera la tasa absoluta de crecimiento llega a su pico al día 80 después de siembra.

2.3 Ensilajes

Un ensilaje es una práctica que facilita la conservación de forraje en estado verde o semi-seco, el cual permite almacenar alimento en tiempos de cosecha, conservando calidad y palatabilidad, lo cual posibilita aumentar la carga animal por hectárea y sustituir o complementar concentrados gracias a un proceso de fermentación en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno), que puede ser ayudado con

presencia de bacterias (*Streptococos* y *Lactobacilos*). Así, a través de cambios físicos y químicos conserva su valor nutritivo y previene el deterioro del material (Campos y Campos 2017).

Algunas ventajas de un ensilaje es que representa una alternativa en periodos críticos de disponibilidad de pastos en la finca, es un buen alimento y es barato de elaborar, al tiempo que se puede aprovechar mejor el espacio. Dentro de las plantas adecuadas para ensilar se encuentra el maíz y las leguminosas como el manicillo, caupí, poró y madero negro, entre otras. Mezclando gramíneas con leguminosas se aumenta el valor nutricional del silo. Al compactar un silo, se asegura el buen funcionamiento del proceso fermentativo, y logra obtener una densidad de 1 tonelada por metro cúbico (Campos y Campos 2017).

Las bacterias epifíticas de ácido láctico (BAC) fermentan los carbohidratos hidrosolubles (CHS) del forraje, produciendo ácido láctico y, en menor cantidad, ácido acético. Al generarse estos ácidos, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción (Garcés *et al.* 2004). Este proceso de ensilaje lleva cuatro etapas, descritas brevemente por Campos y Campos (2017), se presentan a continuación:

- Fase aeróbica (de aireación), de corto plazo: gracias a la respiración de los tejidos verdes de las plantas estas pierden oxígeno, al tiempo que también se da respiración de los microorganismos presentes.
- Fase de fermentación, sin oxígeno: varía entre semanas dependiendo del material y el nivel de secado del mismo a la hora de ensilar. Gracias a esta fermentación, y a la actividad bacteriana, se aumenta el ácido láctico y baja el pH.
- Fase estable: la actividad microbiana se reduce debido al aumento en la acidez, lo que mantiene las estructuras vegetales en conserva.
- Fase de deterioro aeróbico: Por contacto con el aire, el material vegetal se descompone al ser usado.

Para determinar si un ensilaje es de buena calidad se deben medir parámetros con variables cuantitativas (de laboratorio) y cualitativas (organolépticas). Las propiedades organolépticas de un ensilaje se miden según se representan en el Cuadro 3, donde se le dan características de color, olor y textura al ensilaje o lo descrito por Bertoia (2007) los clasifica de la siguiente forma tomando en cuenta el pH:

- Ensilajes lácticos o bien fermentados: de color amarillo verdoso, de olor agradable, avinagrado y picante, de textura firme, pH de 3,3 a 4, un valor nutritivo similar al del forraje verde.
- Ensilaje butírico: color pardo o verde oliva, olor desagradable y rancio, textura blanda o viscosa, pH mayor a 4,5, un valor nutritivo regular, debido a la desnaturalización de proteínas.
- Ensilaje sobre encalado: color marrón, tener un olor acaramelado, de acidez variable, de valor nutritivo bajo.
- Ensilaje mohoso: manchas algodonosas de color blanco, olor rancio, textura gelatinosa, pH mayor a 5, de bajo valor nutritivo.

Cuadro 3. Parámetros para evaluar ensilajes por características organolépticas según color, olor y textura.

Tipo de Fermentación	Color	Olor	Textura
Correcta	Verde claro, amarillo verdoso o marrón	Agradable	Presenta textura original, hojas no se separan
Mala	Verde azulado	Fuerte y ácido	Descompuesta y viscosa, hojas se destruyen en las manos
Sobrecalentado	Marrón oscuro, negro	Olor a tabaco	Hojas intactas a veces secas y desmenuzables

Fuente: tomado de Campos y Campos 2017.

Para la determinación del valor nutricional, se realizan pruebas bromatológicas para medir el valor de cada variable: proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y materia seca a 105° C (MS 105).

Para determinar el valor nutricional de un ensilaje, depende mucho del animal que lo consume y del tipo de producción, sea lechero, de carne o de animales pequeños (cabras, conejos, ovejas). Los rangos deseados que un buen ensilaje debe poseer se muestran en el Cuadro 4, según varias fuentes que concuerdan en los datos encontrados en sus estudios. Los valores de FDN y FDA son determinados por el valor de digestibilidad de las materias primas utilizadas, siendo ambos cultivos con valores altos de digestibilidad aparente.

Cuadro 4. Rangos óptimos de los parámetros de valor nutricional para establecer valor nutritivo en un ensilaje de gramíneas asociado con leguminosas. Fuente correspondiente. 2019.

Parámetros	Rango optimo	Fuente
Materia seca (MS)	30%-40%	Castillo <i>et al.</i> 2009 Benavidez 2012 Mier 2009 Alvarado 2015
Proteína cruda (PC)	>12%	Castillo <i>et al.</i> 2009 López <i>et al.</i> 2008 Cubero <i>et al.</i> 2010 Mier 2009 Alvarado 2015
Fibra detergente neutra (FDN)	25%-45%	Castillo <i>et al.</i> 2009 Cubero <i>et al.</i> 2010 Mier 2009 Alvarado 2015
Fibra detergente ácida (FDA)	30%-45%	Castillo <i>et al.</i> 2009 Cubero <i>et al.</i> 2010 Mier 2009
Cenizas (CE)	5%-10% (<10%)	Castillo <i>et al.</i> 2009 López <i>et al.</i> 2008 Cubero <i>et al.</i> 2010 Hurtado & Villa 2016

Los materiales o infraestructura a utilizar para un ensilaje son variables y dependen de las capacidades productivas o necesidades de cada productor. Dentro de estas se pueden realizar en trincheras, bolsas plásticas extrayendo el aire con aspiración, estañones, cubetas, tanques, estructuras de cemento o fibrocemento. Todo depende de la capacidad del mismo para ser tapado y que permita total aislamiento de los factores que pueden provocar pérdidas: humedad, aireación inadecuada, entrada de contaminantes y suciedad (Campos y Campos 2017).

El procedimiento consta de picar bien el material de 1 cm a 2 cm, mezclar los materiales, agregarlos dentro de la estructura. En algunos casos se le agregan aditivos para mejorar la fermentación y valor nutritivo de los forrajes utilizados. Los materiales se colocan en capas compactando cada capa lo más que se pueda para reducir espacios porosos. Se almacena el ensilaje por aproximadamente 3 semanas a 4 semanas (Campos y Campos 2017).

Debido a su alto rendimiento de biomasa y alto contenido de carbohidratos que favorecen el proceso de fermentación, el maíz (*Zea mays*) es el más empleado para realizar ensilajes como fuente de forraje en la producción bovina. Pero esta gramínea tiene un aporte muy bajo de proteínas, por lo que es necesario la implementación de mezclas de maíz (*Zea mays*) con leguminosas altas en proteínas (Castillo *et al.* 2009). El Caupí (*Vigna unguiculata* (L.)), leguminosa de la familia *Fabaceae* tiene un alto valor en proteína cruda de 19% a 23% (Acevedo *et al.* 2009), valor nutricional alto y bajo valor antinutricional (Díaz *et al.* 2002).

El caupí no solo es considerado por su alto valor nutricional, sino también por su gran capacidad de producción de forraje, existiendo un gran número de variedades arbustivas y de guía con diversos colores de grano (crema, café, rojo y negro) (Oporta & Rivas 2006).

Según el MAG (1991) en los años 90's el cultivo había alcanzado en el Pacífico Seco (200 msnm) rendimientos de 2 t ha⁻¹ a 2.5 t ha⁻¹, utilizándose como grano seco, grano tierno, vainica para consumo humano, con las variedades: Floricream, Zipper Cream, Producer, Alabama, California, Centa 105 y Texas. También se utilizaba su follaje para ensilaje en alimentación animal la variedad Centa 105.

Además de su alto valor nutricional, según Bueno *et al.* (2004), el Caupí es una leguminosa que en ensilaje con una gramínea tiene una alta digestibilidad, por encima de la soya y de la yuca. Mediante la práctica de ensilaje se permite conservar los forrajes en forma verde o semisecos, empelando un proceso anaeróbico.

Para ensilar el maíz se cosecha cuando el elote este lechoso, ya que tiene gran cantidad de azúcares fermentables y baja proteína, por lo que es importante su asocio con una leguminosa alta en proteína. Al compactar bien un silo, se pueden obtener densidades de 1 t/m³, y se puede ensilar mediante trinchera, bolsas plásticas, estañones plásticos y tanques de fibrocemento, cemento o plástico utilizando el material picado y muy bien mezclado, agregando aditivos y los microorganismos eficientes (EM) (Campos y Campos 2017).

Las curvas del estado fenológico comparado con otra variable (en este caso valor nutricional) sirve para establecer el marco temporal del cultivo donde se obtiene el mayor rendimiento y en la mayoría de los casos esa curva es de tipo sigmoidea. Los factores que afectan la calidad de un ensilaje y la conservación son: madurez y contenido de humedad del forraje, tamaño de la picadura, mezclado, llenado compactado y sellado (Romero 2004). Según Castillo *et al.* (2009), las densidades de siembra más utilizadas son 60:40 (60% maíz y 40% caupí) y 70:30 (70% maíz y 30% caupí), dando mejores resultados la de 70:30, afectando el porcentaje de Materia Seca (%MS), Proteína Cruda (PC), Extracto Etéreo (EE), Cenizas (Ce), Fibra (FND y FAD), Lignina, relación de Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Total (N-Total), capacidad buffer (CB) y pH.

Castillo *et al.* (2009) encontró que conforme aumenta la proporción de caupí en el ensilaje se incrementa el contenido de ceniza (5,8% - 7,5%) y proteína, obteniendo en la proteína cruda un 10,4% en promedio en proporciones 70:30. También determinó que al aumentar la proporción de caupí en la siembra se incrementa los contenidos de FDN y FDA por aporte de contenidos de fibra del caupí y sus vainas, encontrando mejor digestibilidad en proporciones 70:30 que en proporciones con más contenido de caupí 60:40.

Según un estudio realizado por Jaramillo (Jaramillo 2018), se menciona que en ensilajes de maíz con caupí cultivado en asocio en proporciones 75:25 se encuentran contenidos de proteína cruda PC de 12,7%, fibra en detergente neutro (FDN) con valores entre 53,4% y 57,3%, fibra en detergente ácido (FDA) valores entre 30,8% y 33,2%. En microsilos de bolsas selladas al vacío, el menor contenido de MS se obtiene en proporciones de 70:30 (14,0%) debido a la proporción más alta de vigna, la PC más alta se obtiene con proporciones 70:30 (14,2%, debido al aporte de PC de vigna y la menor FDA se presenta en 100% maíz (33,7%) debido al menor contenido de lignina en el maíz y por lo tanto mejor digestibilidad.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del estudio

La investigación se desarrolló en la finca La Esmeralda, propiedad del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el distrito Florencia, cantón San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica. La misma está localizada geográficamente a 10° 22' latitud norte, 84° 31' longitud oeste y a una altura de 160 m.s.n.m. Las condiciones climatológicas presentan una temperatura máxima de 30,1 °C, una media mínima de 21,5 °C y una media general de 25,6 °C; la precipitación anual promedio es de 3300 mm; humedad relativa promedio de 84%, con una máxima y mínima de 95 y 60%, respectivamente. La zona se clasifica como Bosque Húmedo Tropical.

3.2 Determinación de la edad de cosecha del caupí

Para determinar la edad óptima de cosecha del caupí, se desarrolló un estudio previo al establecimiento del ensayo para el ensilaje. Para ello se estableció una parcela de caupí de la variedad de grano claro (V. claro), a una densidad de 170 000 pl ha⁻¹.

Se realizaron muestreos de biomasa del caupí a la edad de 22, 29, 36 43 y 50 días después de la siembra. Se tomó como muestra toda la planta cosechada a 5 cm del suelo, incluyendo la flor y la vaina, eligiendo de cuatro a cinco plantas totalmente al azar, eliminando plantas del borde. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Agronómicos del ITCR CLSC. Se realizaron pruebas bromatológicas para determinar proteína cruda (%PC), fibra detergente neutra (%FDN), fibra detergente ácida (%FDA), cenizas (%CE) y materia seca (%MS).

Se obtuvieron los siguientes resultados para las variables nutricionales del caupí a las diferentes edades a la cosecha (Figura 1).

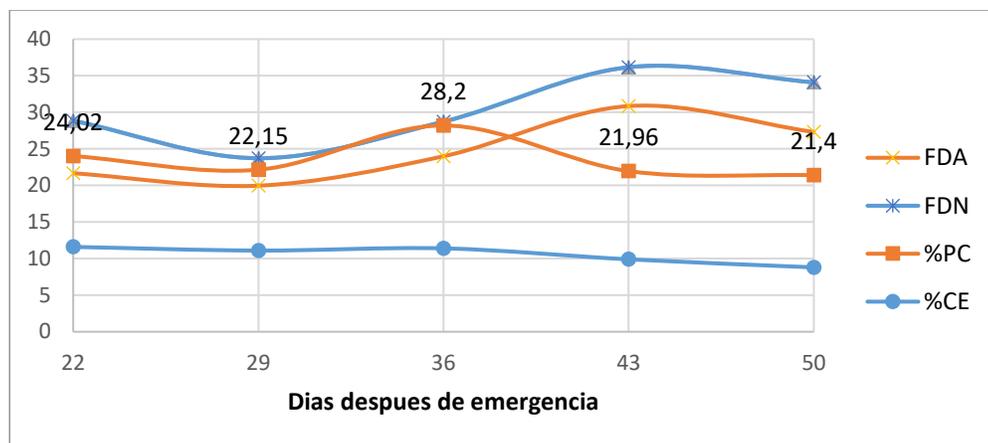


Figura 1. Valores bromatológicos de las muestras según la edad del caupí en días después de emergencia. fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), proteína cruda (PC) en % y cenizas (CE) en %, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.

Fuente: elaboración propia

Con base a estos resultados se estableció 36 días después de emergencia (d.d.e.) como mejor edad para cosecha, considerando como parámetro de mayor peso el contenido de proteína.

3.3 Ensayo para ensilaje de cultivos en asocio maíz y caupí

3.3.1 Establecimiento del cultivo y manejo agronómico

Preparación del terreno; labranza mecanizada con rotavator dirigido manualmente, instalación de tubos y mangueras de riego por goteo. Transcurridos 36 d.d.e. se procedió a sembrar el caupí. Así en el momento de la cosecha y elaboración del ensilaje, el maíz tendría una edad de 75 d.d.e. día y el caupí 36 d.d.e. Todas las semillas, tanto del maíz como del caupí, fueron seleccionadas manualmente y desinfectadas con Vitavax 400, previo a ser sembradas.

Se utilizó la variedad Diamantes 8843 para maíz y variedad V. Claro para Caupí. La siembra se realizó de forma manual, con 75 cm entre hilera y 20 cm entre planta, a una semilla por golpe para ambos cultivos. Se aplicó labranza mecanizada y eliminación de malezas con herbicida Paraquat 2 l ha⁻¹ y Coadyuvante 0,5 l ha⁻¹

10 días antes de la siembra y el día de la siembra. Durante todo el ciclo del cultivo se realizó control manual de las malezas.

La fertilización en el maíz se realizó a razón de 100 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P y 40 kg ha⁻¹ de K. Se aplicó a la siembra fertilizante granular DAP (18-46-0) y KCl (0-0-60) aportando el total de fósforo (60 kg ha⁻¹), 24 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 20 kg ha⁻¹ de potasio. Luego para completar el nitrógeno y el potasio, a los 30 d.d.e se aplicó urea (46%N) y KCl.

En el caupí la fertilización fue de 40kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P y 40 kg ha⁻¹ de K. Se aplicó DAP y KCl a la siembra aportando el total del fósforo, 20 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 20 kg ha⁻¹ de potasio. Se completó el nitrógeno con urea (46%N) y KCl a los 22 d.d.e.

La fertilización con elementos menores para ambos cultivos se hizo con Bayfolan a los 25 días después de la siembra (d.d.s.) del caupí.

Para el control de plagas se realizaron aplicaciones preventivas para ambos cultivos, para *Spodoptera* sp, Formicidae, *Diabrotica* sp. y Orthoptera se aplicó cypermetrina a dosis de 2,5 cc l⁻¹ y Kohinor 35 SC (Imidacloprid) a dosis de 1,5 l ha⁻¹ a las edades de 8, 27,41 y 59 d.d.e. del maíz. Para el control de enfermedades se aplicó, al maíz y a caupí, Amistar 50 GW (Azoxystrobin) con dosis de 250 g ha⁻¹ a los 58 d.d.e del maíz.

3.3.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño Completamente al Azar, con tres tratamientos y cinco repeticiones (Figura 2). Los tratamientos fueron los siguientes:

T1 = maíz sólo (66 000 pl ha⁻¹)

T2 = 70% maíz + 30% caupí (46 200 pl ha⁻¹ de maíz – 19 800 pl ha⁻¹ de caupí)

T3 = 60% maíz + 40% caupí. (39 600 pl ha⁻¹ de maíz – 26 400 pl ha⁻¹ de caupí)

(T3) 60:40	(T1)	(T2) 70:30	(T3) 60:40	(T2) 70:30
(T1)	(T1)	(T3) 60:40	(T2) 70:30	(T1)
(T2) 70:30	(T3) 60:40	(T1)	(T3) 60:40	(T2) 70:30

Figura 2. Croquis de la distribución espacial de los tratamientos y repeticiones en el área experimental de los cultivos asociados, durante estudio de valor nutricional de ensilajes a partir de dicha materia prima. Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.

La densidad de siembra fue de 66 000 pl ha⁻¹ para todas las repeticiones, distribuidas en bloques de 4,5 m por 5 m. El distanciamiento entre surcos fue de 75 cm y entre plantas de 20 cm para todos los tratamientos, un total de seis surcos por bloque, que corresponde a 150 plantas por repetición.

La distribución de las plantas en cada repetición se diseñó de tal forma que en el tratamiento T2 (70:30) cada cuatro plantas de maíz se siembran dos de caupí y en el tratamiento T3 (60:40) cada tres plantas de maíz se siembran dos de caupí, distribuidas de forma que favorezca la entrada de luz al caupí (Figura 3), la pérdida por borde y la alternación de los cultivos en asocio.



Figura 3. Distribución espacial de las plantas, mostrando la entrada de luz hacia las plantas de caupí, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.

Fuente: fotos tomadas por Luis Cordero.

3.3.3 Cosecha y elaboración del ensilaje

La cosecha de la biomasa del material a ensilar se realizó cuando el maíz tenía una edad de 75 días después de la siembra y presentaba mazorcas en estado lechoso.

Se cosecharon dos hileras centrales de cada bloque cortando las plantas (maíz y caupí) a 5 cm del suelo. Inmediatamente después de la cosecha se procedió a pesar las plantas de maíz y caupí por aparte para la determinación del peso fresco (Figura 4). Luego se trituroó todo el material que se pesó, mezclando las plantas de maíz y caupí en los tratamientos T2 y T3, tal como se muestra en la Figura 4. Se utilizaron bolsas de ensilaje de 100 kg, introduciendo todo el material pesado y se compactó manualmente; y para crear el vacío se utilizó una aspiradora manual y se cerró con manila fuertemente para impedir la entrada de aire. Posteriormente se almacenó en lugar fresco por 30 días (Figura 4).

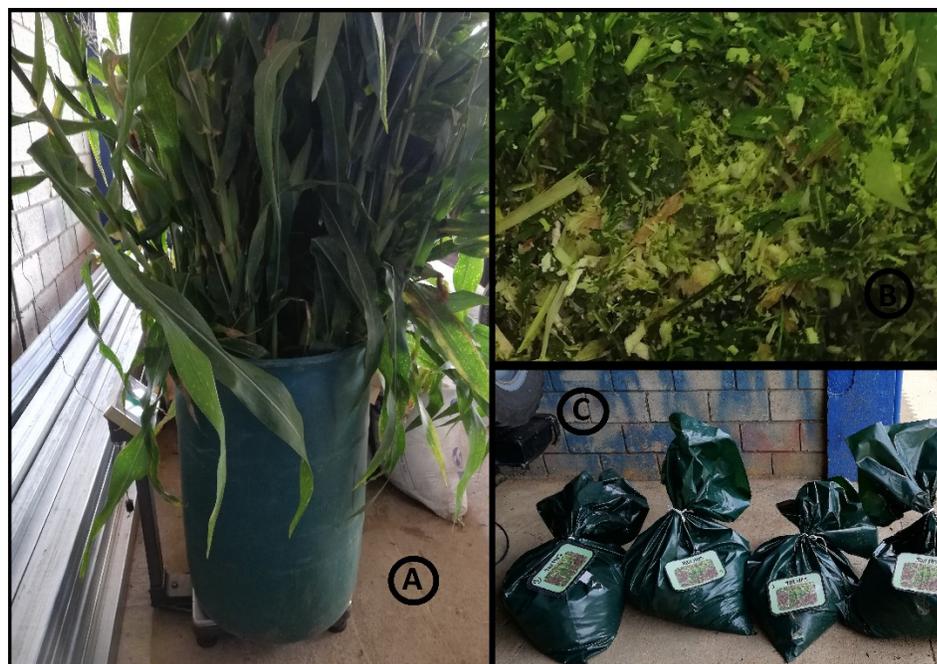


Figura 4. Método de ensilado utilizado, donde: A-Peso del material fresco en estañones, B-Molienda del material fresco a ensilar, C-Bolsas selladas con material triturado dentro debidamente etiquetadas, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITC CTLSC, 2019.

Fuente: fotos tomadas por Luis Cordero.

3.3.4 Variables evaluadas

3.3.4.1 Biomasa de los cultivos: se tomaron los dos surcos del área central de cada repetición cosechados para la elaboración del ensilaje, sacando las proporciones de cada componente (maíz y caupí) en base fresca para comparar con el testigo (T1). Lo anterior con el fin de determinar el aporte proporcional del cultivo como materia prima.

3.3.4.2 Valor nutricional del ensilaje: se llevó a cabo pruebas bromatológicas para determinar:

- Contenido de materia parcialmente seca 55° C: la materia parcialmente seca se determinó por secado en un horno de circulación de aire caliente forzado, a una temperatura de 55° C durante 76 horas. El peso de la muestra se determinó una vez que el material estuvo en equilibrio con la humedad ambiente.

- Proteína cruda (PC): la Proteína Cruda se determinó con el equipo de laboratorio “Nitrogen Analyzer Rapid N Cube”.
- Cenizas: por combustión a 600°C
- Contenido de Fibra Ácido Detergente (FDA) y Fibra Neutro Detergente (FDN): se determinó mediante la adaptación de la metodología de Van Soest (Van Soest *et al.* (1991) y Komarek (Komarek 1993), utilizada por Arredondo (2011) para el equipo de laboratorio “Fiber Analyzer” (ANKOM TECHNOLOGY New York, USA).

3.3.4.3 Parámetros organolépticos: con un panel sensorial de diez panelistas por tratamiento, se analizaron el color, olor y textura según el Cuadro 3.

3.3.4.4 pH: se molió una muestra del silo con molidor manual de maíz, se tomó una muestra de 100 gramos por repetición en un beaker, se le agregaron 100 ml de agua destilada, se mezcló bien y se dejó reposar durante 15 minutos, luego se realizó la medición mediante pH-metro de electrodos.

3.4. Análisis estadístico

Todas las variables cuantitativas se analizaron con la técnica de Modelos Lineales Generales y Mixtos (DLMMix), con corrección de heterocedasticidad e independencia en caso de ser necesario.

Se utilizó la prueba de comparación múltiple LSD Fisher, para encontrar diferencias entre tratamientos.

Las variables cualitativas se analizaron por medio de tablas de contingencia con el estadístico X^2 -Pearson como estimador de comparación.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat/P (Di Rienzo *et al* 2018), con un nivel de significancia de 0,05. Para este diseño se estableció en el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_j$$

Donde:

Y_{ij} = Observación correspondiente a la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

μ = Media general.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

E_j = Error experimental.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Producción de biomasa y contenido de materia seca

En la producción de biomasa de maíz por hectárea entre el cultivo de solo maíz (100% maíz) y los cultivos en asocio con proporciones de siembra 70%:30% y 60%:40% de maíz con caupí respectivamente; se encontraron diferencias significativas ($p=0.009$) (Anexo 12). El cultivo de solo maíz, fue el que obtuvo la mayor producción de biomasa ($41\,496,00 \pm 1887,70 \text{ kg ha}^{-1}$) (Cuadro 5), muy por encima de los demás tratamientos que contienen caupí como segundo cultivo, ya que en estos hubo menor número de plantas por hectárea de maíz.

En cuanto a producción de biomasa de maíz entre los cultivos sembrados en asocio en proporciones de siembra maíz 70% : caupí 30% ($28\,440,00 \pm 2118,55 \text{ kg ha}^{-1}$) y maíz 60% : caupí 40% ($29\,984,00 \pm 1810,20 \text{ kg ha}^{-1}$) (Cuadro 5) las diferencias encontradas fueron no significativas (Anexo 12).

Estos datos de producción por hectárea de biomasa en el tratamiento 100% maíz ($66\,000 \text{ pl ha}^{-1}$) al alcanzar $41,5 \text{ t ha}^{-1}$ fueron superiores a los encontrados por Aguilar (Aguilar *et al.* 2011), quien al estudiar diferentes variedades de maíz a una densidad de $62\,000 \text{ pl ha}^{-1}$ obtuvo en promedio una producción de $32,1 \text{ t ha}^{-1}$ de biomasa. De igual forma fue mayor lo obtenido en el tratamiento maíz 70%: caupí 30% ($46\,200 \text{ pl ha}^{-1}$) con $28,4 \text{ t ha}^{-1}$ y en el tratamiento maíz 60% : caupí 40% ($39\,600 \text{ pl ha}^{-1}$) con $29,9 \text{ t ha}^{-1}$ (Cuadro 5), que en ambos casos las densidades de siembra fueron menores en comparación a lo obtenido por Aguilar (Aguilar *et al.* 2011), que con $50\,000 \text{ pl ha}^{-1}$ consiguió una producción de $25,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Entre los cultivos sembrados en asocio maíz: caupí se encontraron diferencias significativas en la producción de caupí ($p=0.0008$) (Anexo 13). El tratamiento maíz 60%: caupí 40% ($2133,33 \pm 123,85 \text{ kg ha}^{-1}$) fue mayor al tratamiento maíz 70%: caupí 30% ($1221,33 \pm 123,85 \text{ kg ha}^{-1}$) (Cuadro 5). Esto se debe al aumento en la proporción de plantas de caupí en los tratamientos.

En la producción total de biomasa por tratamiento se encontraron diferencias significativas ($p=0.0029$) (Anexo 14), teniendo una producción mayor el tratamiento 100% maíz ($41\,496,00 \pm 1887,70 \text{ kg ha}^{-1}$) a los tratamientos 70%: caupí 30% ($29\,661,34 \pm 1989,33 \text{ kg ha}^{-1}$) y maíz 60%: caupí 40% ($32\,117,33 \pm 1989,33 \text{ kg ha}^{-1}$) (Cuadro 5), siendo estos dos últimos iguales (Anexo 14).

Cuadro 5. Producción de biomasa (kg ha^{-1}) encontrados por cultivo y tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.

Tratamiento	Maíz kg ha^{-1}		Caupí kg ha^{-1}		Total kg ha^{-1}	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE
T1 100% maíz	41 496	1888 (a)	0	0	41 496	1888 (a)
T2 70% maíz 30% caupí	28 440	2119 (b)	1221	87 (b)	29 661	2191 (b)
T3 60% maíz 40% caupí	29 984	1810 (b)	2133	152 (a)	32 117	1873 (b)

Nota: Medias con igual letra en una misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para los valores de materia seca a 55°C sobre las muestras de ensilaje, transcurridos los 30 días, las diferencias fueron no significativas entre tratamientos ($p=0.7130$) (Anexo 15). Ninguno de los tratamientos obtuvo valores dentro del rango óptimo expuesto en el Cuadro 6 (30% - 45%), se mantuvieron ligeramente por debajo de éste.

Estos datos de %MS difieren a los encontrados por Castillo *et al.* (2009) quien reporta en densidades de siembra 70% maíz: 30% caupí con 21,44% MS y 60% maíz: 40% caupí 19,76% MS, siendo estas diferentes entre sí, lo cual lo atribuye al aporte de humedad del caupí. Se encontró en este estudio (Cuadro 6) con diferencias no significativas entre tratamientos (Anexo15), que el ensilaje obtenido del cultivo de solo maíz presentó valores más altos que los encontrados por Castillo *et al.* (2009) e iguales a los valores de %MS de los ensilajes obtenidos de cultivos asociados con caupí. Por lo tanto, la adición de caupí como segundo cultivo asociado independientemente de la proporción de siembra no alteró los datos de MS de los ensilajes.

Cuadro 6. Porcentaje de materia seca del ensilaje según tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.

Tratamiento	% MS	
	Media	EE
T1 100% maíz	27,24	0,47 (a)
T2 70% maíz 30% caupí	26,38	0,94 (a)
T3 60% maíz 40% caupí	27,32	1,55 (a)

Nota: Medias con igual letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

4.2. Parámetros organolépticos

Las diferencias fueron no significativas ($p=0,7970$) entre tratamientos en cuanto al olor (Anexo 17). La prueba con Tablas de Contingencia (Anexo 17), mostró que en promedio el 70% (Cuadro 7) de los panelistas reconocieron un olor agradable en los tres tratamientos. Por lo tanto, los tratamientos 100% maíz, 70% maíz : 30% caupí y 60% maíz : 40% caupí se califican con olor agradable.

Se encontraron diferencias significativas ($p=0,0080$) en el color (Anexo16) de los ensilajes entre tratamientos: el ensilaje obtenido de 100% maíz fue diferente a los ensilajes obtenido de cultivos en asocio de maíz: caupí.

El ensilaje del cultivo 100% maíz mostró dos colores distintos según los panelistas, amarillo y verde, posicionándose la mayoría representada por el 76% en color amarillo (Cuadro 7). Los ensilajes obtenidos de los cultivos en asocio 70% maíz : 30% caupí y 60% maíz : 40% caupí mostraron color amarillo, con porcentajes de 94% y 96% respectivamente (Cuadro 7). De acuerdo a estos resultados se califican los 3 tratamientos con color amarillo (deseado).

En la textura, se encontraron diferencias altamente significativas ($p=0,0001$) entre los tres tratamientos, siendo todos diferentes (Anexo 18). En el ensilaje de 100% maíz, se obtuvo una textura deseada en el 98% de datos (Cuadro 7). El ensilaje del cultivo sembrado en proporciones 70% maíz: 30% caupí mostró igual valor para textura deseada y para textura no deseada (Anexo 18), mientras que para el ensilaje del tratamiento 60% maíz: 40% caupí el 72% de los panelistas calificaron la textura como deseada (Cuadro 7). Por ende, se califican los ensilajes obtenidos

de los tratamientos 100% maíz y 60% maíz . 40% caupí con textura deseada, y el ensilaje obtenido de 70% maíz : 30% caupí no tuvo una textura definida.

Cuadro 7: Valores porcentuales obtenidos de la prueba de parámetros organolépticos con panel sensorial, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.

Tratamiento	Textura			Olor	Color
	Deseada	intermedia	No deseada	Deseado	Deseado
T1 100% maíz	98%	2%	0%	74%	76%
T2 70% maíz 30% caupí	48%	6%	46%	70%	94%
T3 60% maíz 40% caupí	72%	0%	28%	68%	96%

Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de panel sensorial

Utilizando los parámetros de Campos & Campos (2017) para evaluar características organolépticas en los ensilajes (Cuadro 3), se puede determinar que los ensilajes, independientemente del cultivo y proporción de siembra tuvieron una fermentación correcta, con un color amarillo, olor agradable y texturas deseadas, a excepción del ensilaje obtenido de la proporción de siembra 70% maíz : 30% caupí donde la textura no está bien definida.

En cuanto a pH (Cuadro 8) los ensilajes obtenidos de los cultivos 100% maíz y 60% maíz : 40% caupí tuvieron un pH menor a 4,0, mientras que el ensilaje obtenido del asocio maíz : caupí en proporciones 70:30 fue mayor a 4,0 pero menor a 4,5. Recurriendo a lo descrito por Bertoia (2007) al comparar los datos organolépticos con los resultados de pH (Cuadro 8) para tener una mejor respuesta y determinar el tipo de fermentación de los ensilajes, estableciendo como rango para una buena fermentación láctica los pH entre 3,5 y 4,5. Por lo tanto, los 3 tratamientos se definen como ensilajes lácticos de buena fermentación, lo cual concuerda con lo encontrado en las pruebas de olor, color y textura.

Cuadro 8. Promedio de pH obtenidos de muestra del ensilaje en cada tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019

Tratamiento	pH
100% maíz	3,73
70% maíz : 30% caupí	4,15
60% maíz : 40% caupí	3,98

Fuente: elaboración propia con el programa de Office Excel

En resumen, los datos de pH y los de tipo organolépticos no reflejaron diferencias entre tratamientos, definiendo estos con buena fermentación láctica y de olor, color y textura agradable, lo que quiere decir que el proceso fermentativo fue exitoso permitiendo una buena conservación del forraje ensilado.

4.3. Contenido de nitrógeno total, proteína cruda, FAD, FND y cenizas del ensilaje

En el valor de nitrógeno total entre los tratamientos se encontraron diferencias altamente significativas ($p=0,0001$) siendo todos diferentes (Anexo 8). El ensilaje obtenido del cultivo 60% maíz : 40% caupí (60:40) fue el más alto con $2,03 \pm 0,02\%$, seguido por 70% maíz : 30% caupí (70:30) con $1,84 \pm 0,01\%$ y el de menor porcentaje de nitrógeno fue el tratamiento 100% maíz con $1,68 \pm 0,03\%$.

Obando (2012) menciona que las leguminosas poseen una ventaja en absorción de nitrógeno por la fijación biológica de nitrógeno (FBN) con bacterias, creando nódulos que permiten mayor absorción de nitrógeno. La asociación de rizobios y leguminosas es la responsable de la mayor cantidad de nitrógeno fijado en especies agrícolas. Analizando la proporción de caupí en cada tratamiento, el tratamiento 60:40 posee el mayor porcentaje de caupí (40%) en la plantación, teniendo como respuesta mayor cantidad de nitrógeno en el ensilaje.

Al igual que en el nitrógeno total, se encontraron diferencias altamente significativas ($p=0,0001$) en porcentaje de proteína entre los ensilajes obtenidos de los tratamientos, siendo todos diferentes (Anexo 9). El ensilaje del asocio maíz:caupí 60:40 fue el más alto con $12,67 \pm 0,11\%$, seguido por 70:30 con $11,50 \pm 0,09\%$ y el de menor porcentaje de proteína fue el de 100% maíz con $10,49 \pm 0,18\%$.

Valores de PC superiores a los encontrados por Castillo *et al.* (2009) 10,4% en proporciones de siembra 70:30, y muy similares a los encontrados por Jaramillo (2018) 12,7% en proporciones de siembra 75:25. En el ensilaje del cultivo 100% maíz el valor de Proteína (10,49%) se encuentra por debajo del valor óptimo de $>12\%$ (Cuadro 4). El ensilaje del cultivo 60:40 es el que se encuentra por encima del rango óptimo, siendo el tratamiento con mejor valor proteico.

El caupí tiene un porcentaje de Proteína muy alto (28%) lo que significa que a mayor cantidad de biomasa de caupí en el ensilaje, mayor serán los valores de Proteína. Es decir que, al relacionar los valores respuesta de Proteína, el mejor rendimiento en proteína se obtuvo en el ensilaje del cultivo 60:40, mostrando valores por encima del rango óptimo, siendo el tratamiento con mejor valor proteico, atribuido al tener mayor biomasa de caupí (Cuadro 6).

Se encontraron diferencias significativas ($p=0,0160$) en FDN (Anexo 10). El ensilaje obtenido del cultivo 100% maíz fue el de mayor porcentaje con $62,86 \pm 0,67\%$, los ensilajes de los tratamientos con proporciones de siembra 60:40 ($60,24 \pm 0,40\%$) y 70:30 ($59,65 \pm 0,78\%$) fueron iguales. Estos valores en FDN fueron superiores a los encontrados por Jaramillo (2018) 57,3% en proporciones de siembra 75:25, muy similares a los encontrados por Castillos *et al* (2009) 61,26% en proporciones 60:40, y se encuentran muy por encima del rango óptimo expuesto en el Cuadro 4 (25% - 45%).

FDA presentó diferencias no significativas ($p=0,0609$) (Anexo 11). Todos los ensilajes obtenidos de los tratamientos 100% maíz ($36,46 \pm 0,82\%$), 70:30 ($33,44 \pm 0,72\%$) y 60:40 ($34,97 \pm 0,60\%$) fueron iguales (Anexo 11), con valores dentro del rango óptimo establecido en el Cuadro 4.

En cuanto a cenizas se encontraron diferencias significativas ($p=0.0393$) entre los tratamientos (Anexo 7), siendo el ensilaje obtenido del tratamiento 60:40 el más alto con $7,10 \pm 0,21\%$ y de los tratamientos 100% maíz ($6,41 \pm 0,13\%$) y 70:30 ($6,39 \pm 0,13\%$) iguales (cuadro 9) (Anexo 7). Todos los ensilajes obtenidos de los tratamientos 100% maíz, 70:30 y 60:40 presentaron valores óptimos dentro del rango (5% - 10%). Los resultados fueron mayores a los encontrados por Castillo *et al.* (2009) donde obtuvo el valor más alto (7,5%) adicionando melaza al 4%.

Cuadro 9. Valores promedio de las pruebas bromatológicas aplicadas al ensilaje según tratamiento, durante estudio de valor nutricional de ensilaje de cultivos en asocio Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019

Tratamiento	PC (%)		FAD (%)		FND (%)		Cenizas (%)	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
T1 100% maíz	10,49	0,18 (c)	36,46	0,82 (a)	62,86	0,67 (a)	6,41	0,13 (b)
T2 70% maíz : 30% caupí	11,50	0,09 (b)	33,44	0,74 (a)	59,65	0,78 (b)	6,39	0,13 (b)
T3 60% maíz : 40% caupí	12,67	0,11 (a)	33,97	0,60 (a)	60,24	0,40 (b)	7,10	0,21 (a)

Nota: Medias con igual letra en una misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Se puede observar como el ensilaje del tratamiento T3, sembrado en proporciones de 60% maíz y 40% caupí, tiene un comportamiento de mayor valor nutricional sobre los ensilajes de los otros tratamientos, presentando valores de Proteína mayores a 12%, y valores de Ceniza y N-Total mayores.

Es necesario resaltar que, de acuerdo a los comportamientos en valor nutricional expuestos y considerando las diferencias altamente significativas (Anexo 9), se puede definir el cultivo con proporciones de siembra 60% maíz : 40% caupí como el de mejor valor, lo cual difiere con lo encontrado por Castillo *et al.* (2009), donde determinaron como mejor proporción de siembra para aprovechamiento de valores nutricionales y fermentativos 70%maíz : 30% caupí, con resultados en Proteína (10,4%) y Cenizas (7,5%) más bajos.

5 CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló esta investigación y con los resultados obtenidos, se puede concluir:

- Los valores de biomasa de maíz encontrados fueron considerados altos en todas las proporciones de siembra. La adición de un 10% de caupí en la proporción de siembra con maíz conllevó a un aumento en la cantidad de biomasa de caupí, un aspecto clave para aumentar la cantidad de este en el ensilaje y aumentar valores nutricionales. Agregar caupí como cultivo asociado en proporciones de siembra 70:30 y 60:40 maíz: caupí respectivamente no afecta los valores de materia seca con respecto a solo maíz.
- Al agregar caupí hasta un 40% (en % de plantas de la densidad de siembra total) en un cultivo en asocio con maíz, no se afectó la dinámica fermentativa del ensilaje.
- El ensilaje de maíz y caupí, independientemente de la proporción de siembra, presentó los mejores parámetros de valor nutricional en comparación a solo maíz, siendo la proporción de siembra 60:40 maíz: caupí la de mejor desempeño con 12,67% de PC. Los valores de FDA se mantuvieron dentro del rango adecuado lo que se asocia a una buena digestibilidad en todos los tratamientos. La inclusión de caupí como cultivo asociado en proporciones de siembra 70:30 y 60:40 maíz: caupí respectivamente, disminuyó los contenidos de fibra detergente neutro.

6 RECOMENDACIONES

- Evaluar la palatabilidad y digestibilidad in vitro del ensilaje en cada uno de los tratamientos, para comparar los valores nutricionales con la funcionalidad en la producción.
- Realizar el ensilado con microsilos para mejorar compactación, con recolección de efluentes y medición de temperatura para lograr medir más a fondo el comportamiento de la humedad, el pH y tipo de fermentación en ensilajes de gramíneas con leguminosas según la proporción de siembra.

7 BIBLIOGRAFÍA (CITADA O CONSULTADA)

- Acevedo, B.; Añon, M.; Avanza M. & Chávez G. 2009. Caracterización física y nutricional de cuatro variedades de *Vigna unguiculata*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina.
- Aguilar M., C.; Jiménez R., M.; Sánchez H., C.; Sánchez H., M.; Valenzuela J., N.; Villanueva V., C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana* Vol. 22 No. 2. Consultado en línea el 11 de setiembre del 2018. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000200005
- Aguirre F., P. 2009. Caracterización nutricional del grano de Caupí (*Vigna unguiculata* L.) en ratas. Trabajo para optar por el título de Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Producción Animal Tropical. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. Pp 3-20 y 46-74.
- Albán, M.; Rojas, J.; Olgún, U.; Cruz, R. 2012. Manual de cultivo de frijol caupí. Primera Edición. Dirección Regional Agraria Piura. Piura, Perú. Pp. 11-22
- Alvarado Villalobos, Edwin J. 2015. Evaluación del valor nutricional del ensilaje de residuos de la cosecha de camote (*Ipomoea batatas* (L)). Trabajo final de graduación presentado a la Escuela de Ingeniería en Agronomía como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos. Alajuela, Costa Rica.
- Araya Fernández, C. & Hernández Fonseca, J. 2006. Guía para la identificación de las enfermedades del frijol más comunes en Costa Rica. Universidad Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica. MAG 2006. Pp 7-28
- Arredondo, L. 2011. Evaluación del efecto de diferentes aditivos sobre parámetros de valor nutricional del ensilaje de caña de azúcar. Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede San Carlos. 49p
- Benavidez, J.E. 2012. La morera, un forraje de alto valor nutricional para la alimentación animal en el trópico. *Pastos y Forrajes*, [S.l.], v. 23, n. 1, feb. 2012. Disponible en: <<https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=952>>. Fecha de acceso: 13 nov. 2018
- Bertoia, L. 2007. Ganadería; Artículos técnicos; Forrajes y Pasturas; Algunos conceptos sobre ensilaje. s.l. Engormix. Consultado en línea el 18 de septiembre del 2018. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/articulos/algunos-conceptos-sobre-ensilaje-t1716/p0.htm>
- Bueno G., G.; Mojica R., J. & Pardo B., O. 2004. Alimentación bovina con base en cultivos forrajeros en fincas de pequeños productores del Piedemonte del Meta. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Boletín de Investigación No. 03. Villavicencio, Meta, Colombia. Pp 38-44
- Campos Ramírez, J. & Campos Solano, G. 2017. Sistema Unificado de Información Institucional: Aspectos Básicos del Ensilaje. Ministerio de Agricultura y Ganadería; Compañía Nacional de Fuerza y Luz. San José, Costa Rica.
- Castillo Jiménez, M.; Rojas-Bourrillon, A. & WingChing-Jones, R. 2009. Valor nutricional del maíz cultivado en asocio con *Vigna* (*Vigna radiata*). Trabajo para optar por

- licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense #33.
- Chacón Lizano, M. 2017. Evolución del cultivo de maíz en Costa Rica. Oficina Nacional de Semillas, Costa Rica. Consultado en línea el 17 de setiembre del 2018. Disponible en: <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semillas-de-maiz/evolucion-cultivo-maiz/>
- Cubero, J.; Rojas, A.; WingChing, R. 2010. Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo
- Díaz, M.F.; González, A.; Mora, C. & Padilla C. 2002. Producción y composición bromatológica de harinas de Vigna: de forrajes, integrales y de grano. Agricultura Técnica Vo. 62, No. 2. La Habana, Cuba. Consultado en 17 de setiembre del 2018. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072002000200009&lng=es&nrm=iso
- Di Rienzo J.A., Casanovas F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Estrada Garro, F. 2013. Inventario de Tecnologías; Maíz, región Brunca: Marco del proyecto regional PRESICA. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. Pp. 5-27
- Faz Contreras, R.; Núñez Hernández, G.; Tovar Gómez, M.; Zavala Gómez, A. 2001. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. Técnica Pecuaria en México. Vol. 39. Vol. 2. Mérida, México. Pp 77-88
- Garcés, A. Berrio, L. Ruiz, S. Serna, J. Buile, F. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista Lasallista de Investigación 1 (1): 66-71.
- Gaviria Hernandez, B. 2016. Análisis de la fenología e índices de crecimiento de maíz (*Zea mays* L.) variedad Pioneer, Curdi – Armero Tolima. Universidad de Tolima. Colombia.
- Hurtado V., J. & Villa R., R. 2016. Evaluación nutricional de diferentes ensilajes para alimentar conejos. Rev. Cienc. Agr. 33(1): 76-83. doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.54>. Armenia, Colombia. Pp 80-83
- Jaramillo J., L. 2018. Evaluación del rendimiento y calidad forrajera de la asociación de maíz (*zea mays*) y caupí (*vigna unguiculata*) para forraje verde y microensilado en un área marginal del cultivo de la caña de azúcar. Trabajo de investigación para optar por el grado de: Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- López H., M.; Rojas B., A.; WingChing J., R. 2008. Características fermentativas y nutricionales del ensilaje de rastrojo de piña. Agronomía Costarricense 33(1): 1-15. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Mier Quiroz, M. 2009. Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica en ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Trabajo para optar por el grado de Master en Zootecnia y Gestión Sostenible. Universidad de Córdoba, Producción Animal. Córdoba, Sevilla, España. Pp 38-45

- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica: Rabiza (*Vigna unguiculata* (L) Walp.). Dirección general de investigación y extensión agrícola. San José Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2007. Plan estratégico de la cadena productiva de maíz y frijol: Periodo 208-2010. Dirección general de investigación y extensión agrícola. San José Costa Rica.
- Obando Castellanos, D. 2012. Respuesta fisiológica del frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a la coinoculación de bacterias diazotroficas de los géneros *Azobacter* y *Rhizobium* en suelos del departamento del Cesar. Tesis presentada como requisito para optar por el título de: Magister en Ciencias Agrarias: Línea de investigación en Fisiología de Cultivos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Bogotá, Colombia. Pp 15-38
- Oporta Pichardo, E. & Rivas Cáceres, A. 2006. Efecto de la densidad poblacional y la época de siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de Caupí rojo (*Vigna unguiculata* (L)), en Finca el Plantel. Trabajo para optar por diplomado en Ingeniería Agronómica con énfasis en Producción Vegetal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Romero, L. 2004. Ensilaje de leguminosas con énfasis en alfalfa y soja. INTA. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado en 17 de setiembre del 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/79-ensilaje_leguminosas.pdf
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.
- Vargas Rodríguez, C. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana. Vol. 19 No. 2. San José, Costa Rica. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5039698>

8 ANEXOS

Anexo 1. Resultados de pruebas bromatológicas de laboratorio realizadas a muestras de caupí a 22 d.d.e, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019

www.tec.ac.cr

SEDE REGIONAL SAN CARLOS | Tecnológico
ESCUELA DE AGRONOMIA de Costa Rica
Laboratorio de Análisis Agronómicos
Teléfono: 2401-3250
E-mail: analisis.agronomicos@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FOLIAR

Ciente: Luis Carlos Cordero Hernández. ITCR, Lechería.

Fecha: 19/11/2018

Provincia: Alajuela

Cantón: San Carlos

Distrito: Florencia

Cultivo: Caupí.

N° Lab	Identificación de campo	%			Fibra Detergente Neutra	Fibra Detergente Ácida
		N-total	Materia Seca 55°C	Materia Seca 105°C		
B18_44	# 1	3,85	8,58	87,80	28,84	21,67

N° Lab	Identificación de campo	% Proteína	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	% Cenizas
B18_44	# 1	24,02	198,3	18,6	11,6

Observación:

- Muestras tomadas por el interesado.
 - Los resultados de este ensayo reflejan únicamente a la muestra entregada en el laboratorio por el interesado.
- Metodología:**
- K, P y menores extraídos con Olsen Modificado.
 - Ca, Mg y Acidez extractable extraídos con KCl.
 - pH en agua.



Ing. Parménides Furcal Beriguete.
Coordinador Laboratorio Análisis Agronómicos.

Anexo 2. Resultados de pruebas bromatológicas de laboratorio realizadas a muestras de caupí a 29 d.d.e, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019

www.tec.ac.cr

SEDE REGIONAL SAN CARLOS | Tecnológico de Costa Rica
ESCUELA DE AGRONOMÍA
Laboratorio de Análisis Agronómicos
Teléfono: 2401-3250
E-mail: analisis.agronomicos@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FOLIAR

Cliente: Luis Carlos Cordero Hernández. ITCR, Lechería.

Fecha: 05/12/2018

Provincia: Alajuela

Cantón: San Carlos

Distrito: Florencia

Cultivo: Caupí.

N° Lab	Identificación de campo	%			Fibra Detergente Neutra	Fibra Detergente Ácida
		N-total	Materia Seca 55°C	Materia Seca 105°C		
B18_45	# 2	3,55	11,69	89,8	23,72	19,97

N° Lab	Identificación de campo	% Proteína	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	% Cenizas
B18_45	# 2	22,15	325,9	38,1	11,1

Observación:

- Muestras tomadas por el interesado.
 - Los resultados de este ensayo reflejan únicamente a la muestra entregada en el laboratorio por el interesado.
- Metodología:**
- K, P y menores extraídos con Olsen Modificado.
 - Ca, Mg y Acidez extractable extraídos con KCl.
 - pH en agua.



Ing. Parménides Furcal Beriguete.
Coordinador Laboratorio Análisis Agronómicos.

Anexo 3. Resultados de pruebas bromatológicas de laboratorio realizadas a muestras de caupí a 36 d.d.e, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019

www.tec.ac.cr

SEDE REGIONAL SAN CARLOS | Tecnológico
ESCUELA DE AGRONOMÍA de Costa Rica
Laboratorio de Análisis Agronómicos
Teléfono: 2401-3250
E-mail: analisis.agronomicos@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FOLIAR

Cliente: Luis Carlos Cordero Hernández. ITCR, Lechería.

Fecha: 19/11/2018

Provincia: Alajuela

Cantón: San Carlos

Distrito: Florencia

Cultivo: Caupí.

N° Lab	Identificación de campo	%			Fibra Detergente Neutra	Fibra Detergente Ácida
		N-total	Materia Seca 55°C	Materia Seca 105°C		
B18_46	# 3. Floración	4,52	10,6	88,4	28,72	23,99

N° Lab	Identificación de campo	% Proteína	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	% Cenizas
B18_46	# 3. Floración	28,20	534,9	56,7	11,4

Observación:

- Muestras tomadas por el interesado.
 - Los resultados de este ensayo reflejan únicamente a la muestra entregada en el laboratorio por el interesado.
- Metodología:**
- K, P y menores extraídos con Olsen Modificado.
 - Ca, Mg y Acidez extractable extraídos con KCl.
 - pH en agua.



Ing. Parménides Furcal Beriguete.
Coordinador Laboratorio Análisis Agronómicos.

Anexo 4. Resultados de pruebas bromatológicas de laboratorio realizadas a muestras de caupí a 43 d.d.e, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019

www.tec.ac.cr

SEDE REGIONAL SAN CARLOS | Tecnológico
ESCUELA DE AGRONOMÍA | de Costa Rica
Laboratorio de Análisis Agronómicos
Teléfono: 2401-3250
E-mail: analisis.agronomicos@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FOLIAR

Ciente: Luis Carlos Cordero Hernández. ITCR, Lechería.

Fecha: 26/11/2018

Provincia: Alajuela

Cantón: San Carlos

Distrito: Florencia

Cultivo: Caupí.

N° Lab	Identificación de campo	%			Fibra Detergente Neutra	Fibra Detergente Ácida
		N-total	Materia Seca 55°C	Materia Seca 105°C		
B18_47	# 4. Muestra vaina 1	3,52	10,09	88,6	36,16	30,85

N° Lab	Identificación de campo	% Proteína	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	% Cenizas
B18_47	# 4. Muestra vaina 1	21,96	604,7	61,0	9,9

Observación:

- Muestras tomadas por el interesado.
 - Los resultados de este ensayo reflejan únicamente a la muestra entregada en el laboratorio por el interesado.
- Metodología:**
- K, P y menores extraídos con Olsen Modificado.
 - Ca, Mg y Acidez extractable extraídos con KCl.
 - pH en agua.



Ing. Parménides Furcal Beriguete.
Coordinador Laboratorio Análisis Agronómicos.

Anexo 5. Resultados de pruebas bromatológicas de laboratorio realizadas a muestras de caupí a 50 d.d.e, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019

www.tec.ac.cr

SEDE REGIONAL SAN CARLOS | Tecnológico
ESCUELA DE AGRONOMIA | de Costa Rica
Laboratorio de Análisis Agronómicos
Teléfono: 2401-3250
E-mail: analisis.agronomicos@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FOLIAR

Ciente: Luis Carlos Cordero Hernández. ITCR, Lechería.

Fecha: 26/11/2018

Provincia: Alaiuela

Cantón: San Carlos

Distrito: Florencia

Cultivo: Caupí.

N° Lab	Identificación de campo	%			Fibra Detergente Neutra	Fibra Detergente Ácida
		N-total	Materia Seca 55°C	Materia Seca 105°C		
B18_65	# 5. Vaina 2.	3,43	12,21	94,30	34,09	27,31

N° Lab	Identificación de campo	% Proteína	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	% Cenizas
B18_65	# 5. Vaina 2.	21,40	636,3	77,7	8,8

Observación:

- Muestras tomadas por el interesado.
 - Los resultados de este ensayo reflejan únicamente a la muestra entregada en el laboratorio por el interesado.
- Metodología:**
- K, P y menores extraídos con Olsen Modificado.
 - Ca, Mg y Acidez extractable extraídos con KCl.
 - pH en agua.



Ing. Parménides Furcal Beriguete.
Coordinador Laboratorio Análisis Agronómicos.

Anexo 6. Resultados de pruebas bromatológicas de laboratorio realizadas a muestras de ensilaje según tratamiento y repetición, Finca la Esmeralda, ITCR CTLSC, 2019.

CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS
 www.tec ESCUELA DE AGRONOMÍA
 Laboratorio de Análisis Agronómicos
 Teléfono: 2401-3250
 E-mail: laboratoriosuelos@itcr.ac.cr

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

Cliente: Luis Carlos Cordero Hernández

Fecha: 18/10/2019

Provincia: Alajuela

Cantón: San Carlos

Distrito: Florencia

Cultivo: Maíz y Caupí

N° Lab	Identificación de campo	%					
		N-total	Proteína	Fibra Det.Acida	Fibra Det. Neutra	Materia Seca 105°C	Ceniza
F19_278	T 1 - 1	1,72	10,73	32,38	60,69	96,0	5,7
F19_279	T 1 - 2	1,59	9,92	40,44	65,74	96,8	7,0
F19_280	T 1 - 3	1,68	10,48	34,67	61,65	96,5	6,1
F19_281	T 1 - 4	1,81	11,29	37,20	62,72	94,6	6,7
F19_282	T 2 - 1	1,75	10,92	31,63	58,69	94,7	5,7
F19_283	T 2 - 2	1,96	12,23	32,23	58,50	95,1	6,8
F19_284	T 2 - 3	1,70	10,61	36,01	62,93	96,2	6,4
F19_285	T 2 - 5	1,98	12,36	33,19	57,67	94,1	6,4
F19_286	T 3 - 1	2,00	12,48	34,64	59,90	96,5	6,8
F19_287	T 3 - 2	2,02	12,60	33,51	59,02	96,0	6,5
F19_288	T 3 - 3	2,12	13,23	38,05	61,58	96,1	7,9
F19_289	T 3 - 4	1,92	11,98	32,82	60,40	98,1	7,1

Observación:

- Muestras tomadas por el interesado.
 - Los resultados de este ensayo reflejan únicamente a la muestra entregada en el laboratorio por el interesado.
- Metodología:**
- K, P y menores extraídos con Olsen Modificado.
 - Ca, Mg y Acidez extractable extraídos con KCl.
 - pH en agua.

Ing. Parménides Furcal Beriguete.
Coordinador Laboratorio Análisis Agronómicos.

Anexo 7. Análisis estadístico de la variable ceniza, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.028_Ceniza_REML<-gls (Ceniza~1+Tratamiento  
,weights=varComb (varIdent (form=~1|Tratamiento))  
,correlation=corAR1 (form=~1|Tratamiento)  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data18)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.028_Ceniza_REML

Variable dependiente: Ceniza

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
12	31,57	32,95	-8,79	0,44	0,34	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6275,95	<0,0001
Tratamiento	2	4,74	0,0393

Ceniza - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
3	7,10	0,21	A
1	6,41	0,13	B
2	6,39	0,13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 8. Análisis estadístico de la variable N-Total, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.029_N.Total_REML<-gls(N.Total~1+Tratamiento
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,correlation=corAR1(form=~1|Tratamiento)
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data18)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.029_N.Total_REML`

Variable dependiente: N-Total

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
12	0,23	1,61	6,88	0,17	0,65	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	32248,40	<0,0001
Tratamiento	2	63,78	<0,0001

N.Total - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
3	2,03	0,02	A
2	1,84	0,01	B
1	1,68	0,03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 9. Análisis estadístico de la variable proteína, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.030_Proteina_REML<-gls(Proteina~1+Tratamiento  
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))  
,correlation=corAR1(form=~1|Tratamiento)  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data18)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.030_Proteina_REML

Variable dependiente: Proteína

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
12	33,18	34,56	-9,59	1,04	0,65	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	32450,79	<0,0001
Tratamiento	2	64,09	<0,0001

Proteína - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
3	12,67	0,11	A
2	11,50	0,09	B
1	10,49	0,18	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 10. Análisis estadístico de la variable fibra detergente neutro, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.031_FDN_REML<-gls(FDN~1+Tratamiento  
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))  
,correlation=corAR1(form=~1|Tratamiento)  
,method=\"REML\")  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data18)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.031_FDN_REML`

Variable dependiente: FDN

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
12	53,04	54,42	-19,52	1,84	0,40	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	37333,15	<0,0001
Tratamiento	2	6,79	0,0160

FDN - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
1	62,86	0,67	A
3	60,24	0,40	B
2	59,65	0,78	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 11. Análisis estadístico de la variable fibra detergente ácido, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.032_FDA_REML<-gls(FDA~1+Tratamiento  
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))  
,correlation=corAR1(form=~1|Tratamiento)  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data18)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.032_FDA_REML

Variable dependiente: FDA

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
12	58,81	60,19	-22,41	2,67	0,21	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	7549,37	<0,0001
Tratamiento	2	3,88	0,0609

FDA - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
1	36,46	0,82	A
3	34,97	0,60	A
2	33,44	0,72	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 12. Análisis estadístico de la variable biomasa para maíz en kg ha⁻¹, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.015_Maiz_REML<-gls(Maiz~1+Trata  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data09)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.015_Maiz_REML

Variable dependiente: Maíz

Medidas de ajuste del modelo

<u>n</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>	<u>logLik</u>	<u>Sigma</u>	<u>R2</u>	<u>0</u>
15	247,93	249,87	-119,96	4345,21	0,69	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	881,32	<0,0001
Trata	2	13,48	0,0009

Maíz - Medias ajustadas y errores estándares para Trata

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

<u>Trata</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
1	41496,00	1943,24	A
3	29984,00	1943,24	B
2	28440,00	1943,24	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 13. Análisis estadístico de la variable biomasa para caupí en kg ha⁻¹, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.016_Caupi_REML<-gls(Caupi~1+Trata  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data09)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.016_Caupi_REML

Variable dependiente: Caupi

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
10	121,90	122,14	-57,95	276,94	0,77	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	366,84	<0,0001
Trata	1	27,11	0,0008

Caupi - Medias ajustadas y errores estándares para Trata

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Trata	Medias	E.E.	
3	2133,33	123,85	A
2	1221,33	123,85	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 14. Análisis estadístico de la variable biomasa total en kg ha⁻¹, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.017_Biomasa.Tot_REML<-gls(Biomasa.Tot~1+Trata  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data09)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.017_Biomasa.Tot_REML

Variable dependiente: Biomasa Tot

Medidas de ajuste del modelo

<u>n</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>	<u>logLik</u>	<u>Sigma</u>	<u>R2</u>	<u>0</u>
15	248,49	250,43	-120,24	4448,27	0,62	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	898,37	<0,0001
Trata	2	9,86	0,0029

Biomasa.Tot - Medias ajustadas y errores estándares para Trata

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

<u>Trata</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
1	41496,00	1989,33	A
3	32117,33	1989,33	B
2	29661,34	1989,33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 15. Análisis estadístico de la variable % materia seca, ITCR CTLSC, 2019

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002_MS_REML<-gls (MS~1+Trat  
,weights=varComb (varIdent (form=~1|Trat))  
,method="REML"  
,na.action=na.omit  
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.002_MS_REML

Variable dependiente: %MS

Medidas de ajuste del modelo

<u>n</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>	<u>logLik</u>	<u>Sigma</u>	<u>R2</u>	<u>0</u>
15	67,10	70,01	-27,55	1,04	0,04	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	4508,40	<0,0001
Trat	2	0,35	0,7130

MS - Medias ajustadas y errores estándares para Trat

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Trat Medias E.E.

3	27,32	1,55	A
1	27,24	0,47	A
2	26,38	0,94	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 16. Análisis estadístico de la variable organoléptica color, ITCR CTLSC, 2019

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas: Color

<u>Tratamiento</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>Total</u>
1	4	0	38	8	50
2	0	1	47	2	50
3	0	0	48	2	50
<u>Total</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>133</u>	<u>12</u>	<u>150</u>

Frecuencias relativas por filas

En columnas: Color

<u>Tratamiento</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>Total</u>
1	0,08	0,00	0,76	0,16	1,00
2	0,00	0,02	0,94	0,04	1,00
3	0,00	0,00	0,96	0,04	1,00
<u>Total</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,89</u>	<u>0,08</u>	<u>1,00</u>

<u>Estadístico</u>	<u>Valor</u>	<u>gl</u>	<u>p</u>
Chi Cuadrado Pearson	17,37	6	0,0080
Chi Cuadrado MV-G2	17,94	6	0,0064
Coef.Conting.Cramer	0,20		
<u>Coef.Conting.Pearson</u>	<u>0,32</u>		

Anexo 17. Análisis estadístico de la variable organoléptica olor, ITCR CTLSC, 2019

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas: Olor

<u>Tratamiento</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>Total</u>
1	13	37	50
2	15	35	50
3	16	34	50
<u>Total</u>	<u>44</u>	<u>106</u>	<u>150</u>

Frecuencias relativas por filas

En columnas: Olor

<u>Tratamiento</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>Total</u>
1	0,26	0,74	1,00
2	0,30	0,70	1,00
3	0,32	0,68	1,00
<u>Total</u>	<u>0,29</u>	<u>0,71</u>	<u>1,00</u>

<u>Estadístico</u>	<u>Valor</u>	<u>gl</u>	<u>p</u>
Chi Cuadrado Pearson	0,45	2	0,7984
Chi Cuadrado MV-G2	0,45	2	0,7970
Coef.Conting.Cramer	0,04		
<u>Coef.Conting.Pearson</u>	<u>0,05</u>		

Anexo 18. Análisis estadístico de la variable organoléptica textura, ITCR CTLSC, 2019

Tablas de contingencia

Frecuencias absolutas

En columnas: Textura

<u>Tratamiento</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>Total</u>
1	0	1	49	50
2	23	3	24	50
3	14	0	36	50
<u>Total</u>	<u>37</u>	<u>4</u>	<u>109</u>	<u>150</u>

Frecuencias relativas por filas

En columnas: Textura

<u>Tratamiento</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>Total</u>
1	0,00	0,02	0,98	1,00
2	0,46	0,06	0,48	1,00
3	0,28	0,00	0,72	1,00
<u>Total</u>	<u>0,25</u>	<u>0,03</u>	<u>0,73</u>	<u>1,00</u>

<u>Estadístico</u>	<u>Valor</u>	<u>gl</u>	<u>p</u>
Chi Cuadrado Pearson	33,89	4	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	45,25	4	<0,0001
Coef.Conting.Cramer	0,27		
Kappa (Cohen)	-0,11		
<u>Coef.Conting.Pearson</u>	<u>0,43</u>		